

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

# **Návrh designu elektroniky pro měření tlaku**

## **Design of electronic design for pressure measurement**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Kajzar**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy  
Téma: **Návrh designu elektroniky pro měření tlaku**  
**Design of Electronic Design for Pressure Measurement**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování teorie týkající se principů měření.
2. Rešerše technických prostředků návrhu DPS, 3D modelů.
3. Návrh zadaných knihoven včetně 3D modelů pro SW k návrhu desek plošných spojů.
4. Zpracování výkresové dokumentace schématu.
5. Návrh desek plošných spojů dle zadaných rozměrů.
6. Vytvoření 3D modelu elektroniky.
7. Vytvoření výrobních pokladů a seznamu součástek vybraných dodavatelů.
8. Závěr a zhodnocení výsledků práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ŠANDERA, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-181-0.
- [2] ROBERTSON, Christopher T. *Printed circuit board designer's reference: basics*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall Professional Technical Reference, c2004. ISBN 978-0130674814.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Michal Prauzek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

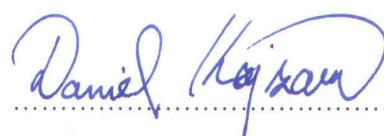
  
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 29.dubna 2019

  
.....

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu práce docentovi Michalu Prauzkovi, za shovívavost a věcné rady. Také bych rád poděkoval bakaláři Tomášovi Skotnicovi za cenné rady při zpracování bakalářské práce

## **Abstrakt**

Cílem této práce je vytvořit zařízení, které bude využito v měřicím systému pro měření tlaku. Toto zařízení je prostorově náročné, a proto je nutný trojdimenzionální návrh zařízení. Z toho důvodu byl zvolen návrhový program Altium Designer verze 14.3, který umožňuje návrh zařízení i ve třech prostorových dimenzích. Zařízení bylo navrženo a následně vyrobeno, poté předáno pro tvorbu firmwaru. Přínos bakalářské práce je návrh designu DPS zařízení pro měření tlaku, rešerše technických prostředků pro návrh DPS a seznámení se s principy měření tlaku.

**Klíčová slova:** Deska plošného spoje; tlak; Altium Designer; Inventor

## **Abstract**

The aim of the thesis is to create a device that will be used in the system of measurement of the pressure. The device requires a great space, and thus the three-dimensional draft is needed. For that reason, the Altium Designer, version 14.3, the design program, was used. This program allows the design of the device in tri-dimensions. The device was designed and then assembled, after that it was passed to the design of firmware. The contribution of the thesis is the design of the PCB device for the measurement of the pressure, the search of the technical resources for the design of PCB and the familiarization with the principles of the measurement of the pressure.

**Key Words:** Printed Circuit Board; pressure; Altium Designer; Inventor

# Obsah

<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	<b>8</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>9</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>10</b>
<b>2 Tlak</b>	<b>11</b>
2.1 Tlakové snímače . . . . .	11
2.1.1 Odporové snímání tlaku . . . . .	11
2.1.2 Piezoelektrické snímání tlaku . . . . .	12
2.1.3 Kapacitní snímání tlaku . . . . .	13
<b>3 Deska plošného spoje</b>	<b>15</b>
3.1 Měděná fólie . . . . .	15
3.1.1 Mechanické vlastnosti . . . . .	15
3.1.2 Elektrické vlastnosti . . . . .	16
3.1.2.1 Elektrická rezistivita spoje . . . . .	16
3.1.2.2 Proudová zatížitelnost spoje . . . . .	17
3.1.2.3 Povolené napětí mezi vodiči, izolační mezery . . . . .	18
3.1.2.4 Parazitní indukčnost a kapacita . . . . .	18
3.2 Základní materiál desky plošných spojů . . . . .	19
<b>4 Programy pro návrh plošných spojů</b>	<b>20</b>
4.0.1 EAGLE . . . . .	20
4.0.2 Altium Designer . . . . .	21
4.0.3 Proteus . . . . .	21
<b>5 Návrhové programy pro tvorbu 3D modelů</b>	<b>22</b>
5.0.1 Inventor . . . . .	22
<b>6 Zařízení pro měření tlaku</b>	<b>23</b>
6.1 Zadání návrhu . . . . .	23
6.2 Návrh mechanického řešení . . . . .	23
<b>7 Návrh knihovny</b>	<b>25</b>
7.1 Návrh footprintu . . . . .	25
7.1.1 Vrstvy . . . . .	25
7.1.2 Nástroj pro tvorbu 3D modelů . . . . .	26
7.1.3 Nástroj pro tvorbu footprintu komponenty . . . . .	27

7.1.4	Určení výšky komponenty . . . . .	27
7.2	Tvorba schématických značek . . . . .	27
7.2.1	Dialogové okno pro nastavení vlastností schématického symbolu . . . . .	27
7.2.2	Nástroje pro návrh schématického symbolu . . . . .	29
<b>8</b>	<b>Zpracování výkresové dokumentace</b>	<b>30</b>
8.1	Tvorba razítka . . . . .	30
8.2	Použité nástroje pro tvorbu výkresové dokumentace . . . . .	31
8.3	Blokové schéma elektroniky Uzlu . . . . .	32
<b>9</b>	<b>Návrh desky plošného spoje</b>	<b>33</b>
9.1	Rozvržení vrstev plošného spoje hlavní desky . . . . .	33
9.2	Rozvržení vrstev plošného spoje terčíku . . . . .	33
9.3	Nástroj Layer stack manager . . . . .	33
9.4	Nástroj pro nastavení pravidel návrhu . . . . .	33
9.5	Návrh plošného spoje pro zdroj hlavní desky . . . . .	35
9.6	Návrh plošného spoje pro číslicovou část hlavní desky . . . . .	35
9.7	Návrh plošného spoje terčíku . . . . .	37
9.8	Návrh připojení terčíku k hlavní desce . . . . .	38
<b>10</b>	<b>Tvorba výrobních podkladů</b>	<b>40</b>
10.1	Tvorba Gerber souboru . . . . .	40
10.2	Tvorba montážního výkresu, seznam součástek a souboru umístění součástek . .	41
<b>11</b>	<b>Testování</b>	<b>43</b>
11.1	Testování zdroje . . . . .	43
11.2	Testování buzení budiče IR LED a nahrání programu . . . . .	44
11.3	Ověření funkčnosti IR LED . . . . .	44
<b>12</b>	<b>Závěr</b>	<b>46</b>
	<b>Literatura</b>	<b>48</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>50</b>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

3D	– trojdimenzionální
BGA	– Ball grid array
CAN	– Controller Area Network
CPLD	– Komplexní programovatelný logický obvod (complex programmable logic device)
CPU	– Centrální procesorová jednotka (central processing unit)
DPS	– Deska plošného spoje
FPGA	– Programovatelná hradlová pole (Field Programmable Gate Array)
FR	– Odolnost proti ohni (Fire resist)
GUI	– Grafické uživatelské rozhraní (Graphical User Interface)
HiZ	– High impedance
IR	– infračervené záření (Infrared radiation)
kč	– Korun českých
NEMA	– Národní asociace elektrických výrobců (National Electrical Manufacturers Association)
PDF	– Portable Document Format
PQFP	– Plastic Quad Flat Pack
SMT	– surface mount technology (technologie pro povrchovou montáž)
SOT	– Small-outline transistor
TCE	– Teplotní koeficient roztažnosti (thermal coefficient expansion)



## Seznam obrázků

1	Princip tenzometru[6] . . . . .	12
2	Průběh změny kapacity pro kapacitní snímače s pevnou plochou překrytí [3] . . .	14
3	Průběh změny kapacity pro kapacitní snímače s pevnou vzdáleností ploch [3] . .	14
4	Velikost rezistivity plošného spoje, pro danou šířku, tloušťku a teplotu[8] . . . . .	16
5	Proudová zatížitelnost plošného spoje [11] . . . . .	17
6	Závislost napětí mezi plošnými spoji na šířce izolační mezery (tloušťka Cu je 35 $\mu m$ ) [9] . . . . .	18
7	Měřicí řetězec . . . . .	23
8	Umístění Uzlů a pinů v zařízení . . . . .	24
9	Návrh konstrukce desky . . . . .	24
10	Nabídkové okno 3D Body . . . . .	26
11	Nabídkové okno symbolické značky . . . . .	28
12	Okno Pin Properties . . . . .	29
13	Okno s nastavitelnými parametry pro razítko . . . . .	30
14	Razítko vytvořené pro návrhový program Altium Designer . . . . .	31
15	Okno Annotate . . . . .	31
16	Blokové schéma elektroniky Uzlu . . . . .	32
17	Okno Layer stack manager s hodnotami pro desku terčíku . . . . .	34
18	Okno Rules pro nastavení šířky spoje . . . . .	35
19	Nastavení přímého spojení pro zemnicí prokovené otvory . . . . .	36
20	Motiv plošného spoje o oscilátor . . . . .	36
21	Pokrytí vysílání IR . . . . .	37
22	3D model DPS terčíku . . . . .	38
23	Pokrytí příjmu IR . . . . .	39
24	Prokovené otvory na hraně hlavní desky . . . . .	39
25	Okno pro nastavení generace Gerber souborů . . . . .	40
26	Okno NC Drill Setup . . . . .	41
27	Okno souboru pro tvorbu smart PDF . . . . .	41
28	Okno nástroje pick and place . . . . .	42
29	Schéma zdroje . . . . .	43
30	Snímek z osciloskopu nezatíženého zdroje . . . . .	43
31	Snímek z osciloskopu zatíženého zdroje . . . . .	44
32	Snímek z osciloskopu při testování budiče IR LED . . . . .	44
33	Hotové zařízení . . . . .	46

# 1 Úvod

Teoretická část práce se zabývá fyzikální podstatou tlaku, a také principy měření této fyzikální veličiny. Jsou rozebrány odporové, piezoelektrické a kapacitní snímače tlaku. V další části práce je popsána DPS. DPS lze rozdělit na dvě části, vodivou a nevodivou část. Jako vodivá část DPS se využívá měděná fólie, která je určitým způsobem připevněna k základní desce, tedy nevodivé části DPS. U měděné fólie jsou popsány její mechanické a elektrické vlastnosti. Jako základní materiály pro DPS jsou uvedeny organické a neorganické materiály. V neposlední řadě je provedena rešerše návrhových programů pro tvorbu DPS a 3D modelů. Jako zástupci jsou vybráni Eagle, Altium Designer, Proteus a pro tvorbu 3D modelů program Inventor.

Praktická část práce se zaměřuje na návrhu designu elektroniky zařízení pro měření tlaku. Celý systém pro měření tlaku je složen ze tří zařízení. V této práci je popsán návrh jednoho z těchto zařízení. Jedná se o spojovací Uzel, který je vložen mezi snímací část a nadřazený systém. Pro návrh plošného spoje byl zvolen návrhový program Altium Designer ve verzi 14.3.

Na začátku je předveden popis funkce zařízení. Následně jsou stanoveny technické a mechanické požadavky na zařízení a s ohledem na tyto požadavky je pak proveden mechanický návrh řešení. Poté se již přistupuje k práci v návrhovém programu Altium Designer. V první řadě je popsán návrh knihovny, ve kterém se popisuje tvorba schématických značek, footprintu součástky a práce s 3D modely, jelikož Altium Designer podporuje návrh i ve 3D. Další kapitola práce je věnována tvorbě výkresové dokumentace. Je popsána tvorba razítka a použité nástroje návrhového programu pro tvorbu schématu. Hlavní částí práce je návrh DPS pro dané zařízení. To se skládá ze dvou DPS a v první řadě je popsáno rozložení vrstev pro obě DPS. Poté je uvedeno nastavení jednotlivých nástrojů v Altium Designeru pro tvorbu DPS a pak se již přistupuje k návrhu zařízení.

V neposlední řadě je představena tvorba výrobních dokumentů. Je předveden nástroj pro tvorbu Gerber souborů a je popsáno jeho nastavení pro projekt. Při tvorbě zařízení je také potřeba osazovací výkres, dokumentace pro nákup součástek a soubor se souřadnicemi umístění komponent. Tvorbě těchto dokumentů je věnována předposlední kapitola práce.

Poslední kapitola je věnována testování funkčnosti desky. Jsou popsány jednotlivé provedené testy a jsou také zobrazeny výsledky těchto testů.

## 2 Tlak

Tlak je základní fyzikální veličina, obvykle označována písmenem  $p$ . Z Pascalova zákona lze vyjádřit tlakovou rovnici[1]

$$dF = p \cdot dS \quad (2.1)$$

kde  $dF$  je vektor elementu působící síly na  $dS$ ,  $dS$  je element plochy a  $p$  je tlak. Při vyjádření tlaku z této rovnice, je získán známější tvar[1]

$$p = \frac{dF}{dS} \quad (2.2)$$

Nicméně u pevných těles není možné docílit, aby byl povrch stykových ploch ideální. Proto se pak v praxi využívá tzv. průměrný tlak, který vyjadřuje průměrnou hodnotu tlakového silového působení síly  $F$ , která působí kolmo na rovinnou plochu  $S$  o určité velikosti. Matematický zápis průměrného tlaku, často se využívá označení měrný tlak, lze vyjádřit následovně[1][4]

$$p = \frac{F}{S} \quad (2.3)$$

Jednotkou tlaku je pascal. Značí se zkratkou Pa. Pro vyjádření základní jednotky v SI soustavě je nutné do rovnice 2.3 dosadit SI jednotky pro  $F$  a  $S$  [1]

$$[F] = 1\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} = 1\text{N} \quad (2.4)$$

a

$$[S] = 1\text{m}^2. \quad (2.5)$$

pak dostaneme

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2} = 1\text{Pa} \quad (2.6)$$

### 2.1 Tlakové snímače

Mezi tlakové snímače patří například odporové, kapacitní a indukční snímače tlaku. Funkce snímačů je založena na principu změny fyzikální vlastnosti snímače (např. u odporového snímače se jedná o rezistivitu) díky působení tlaku. Změna vlastnosti snímače je pak doprovázena změnou napětí na snímači nebo proudu protékajícího snímačem.

#### 2.1.1 Odporové snímání tlaku

Princip měření tlaku pomocí odporových snímačů je založen na mechanickém namáhání odporového materiálu, přičemž dochází ke změně rezistivity. Mechanickým namáháním je myšleno namáhání v oblasti pružných deformací, tedy silami působících v mezích Hookova zákona. Nicméně rezistivita je také tepelně závislá, což je jednou z nevýhod těchto snímačů. Tuto ne-

výhodu je nutno kompenzovat, nebo je možné využít také chromniklových slitin, které mají závislost změny rezistivity na teplotě tak malou, že ji lze zanedbat. Odporové tenzometry mohou být polovodičové a kovové.[4][6]

Výraznou skupinou odporových snímačů tlaku jsou tenzometrické snímače. Tyto snímače nejsou využívány pouze pro měření tlaku, ale také pro měření vibrací, kroutícího momentu síly, momentu síly a mnoha dalších.[5]

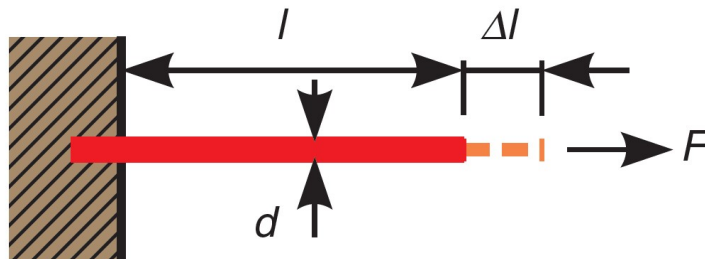
Jak již bylo zmíněno, rezistivita materiálu je závislá na jeho mechanickém namáhání. Při namáhání může dojít v materiálu k určitým změnám. Jedná se o změny délky, průřezu a měrného odporu materiálu. Z důvodu zákona zachování objemu není fyzikálně možné, aby se při mechanickém namáhání měnil pouze jeden z těchto parametrů. Na změně rezistivity se tedy podílí všechny parametry. Původní rezistivita vodiče bez jakéhokoli mechanického namáhání lze matematicky vyjádřit:[6]

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}. \quad (2.7)$$

A při mechanickém namáhání se změní rezistivita o  $\Delta R$ , a pak platí[6]

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l_0} - \frac{\Delta S}{S_0} \quad (2.8)$$

kdy pomocí  $\Delta l$  je vyjádřena změna délky materiálu,  $\Delta S$  je změna průřezu a z důvodu strukturálních změn je změněn i měrný odpor o  $\Delta \rho$ . To vše vede ke změně rezistivity o  $\Delta R$ . Změna těchto parametrů je závislá na působené tlakové síle. Na obrázku 1 je graficky znázorněn princip tenzometru. [6]



Obrázek 1: Princip tenzometru[6]

### 2.1.2 Piezoelektrické snímání tlaku

Funkce snímání je založena na piezoelektrickém jevu. Jsou zde využity vlastnosti krystalu, kdy při jeho deformaci dochází ke vzniku napětí. Je možné sledovat i opačný jev, kdy při připojení napětí na krystal dochází k deformaci krystalu. Nicméně pro snímání tlaku je využito první vlastnosti. Jako krystal může být použit např. křemen, titaničitan barnatý, titaničitan olovnatý, Seignettova sůl atd.[7][10]

Piezoelektrické čidlo je složeno ze dvou elektrod, mezi které je umístěn krystal. Čidlo si lze představit jako zdroj napětí s velkým vnitřním odporem. Působením neelektrické veličiny (v našem případě tlaku) vzniká mezi elektrodami napětí  $U$ . Toto napětí lze vyjádřit matematicky [1] [10]

$$U = \frac{Q}{C} = k \frac{d}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_R \cdot S} F, \quad (2.9)$$

kdy  $F$  je síla, pomocí které je působeno na krystal,  $S$  je plocha dvou paralelních elektrod, které jsou vzdáleny od sebe vzdáleností  $d$  a  $k$  je piezoelektrická konstanta (pro křemen má hodnotu  $k = 2,30 \cdot 10^{-12} \text{CN}^{-1}$ ). Napětí  $U$  je napětí na výstupu čidla, které je úměrné působícímu tlaku. Toto výstupní napětí je poměrně velké, nicméně se mezi měřicí přístroj a čidlo připojuje zesilovač s velkou vstupní impedancí. Prvořadým úkolem zesilovače je impedanční přizpůsobení a druhořadým je samostatné zesílení.[1][10]

### 2.1.3 Kapacitní snímání tlaku

Obecný princip snímání u těchto snímačů vychází ze změny kapacity v důsledku změny působení tlaku na snímač. Existují tři principy kapacitních snímačů, které ovlivňují změnu kapacity:

- změny dielektrika,
- změny plochy elektrod,
- změny vzdálenosti elektrod.

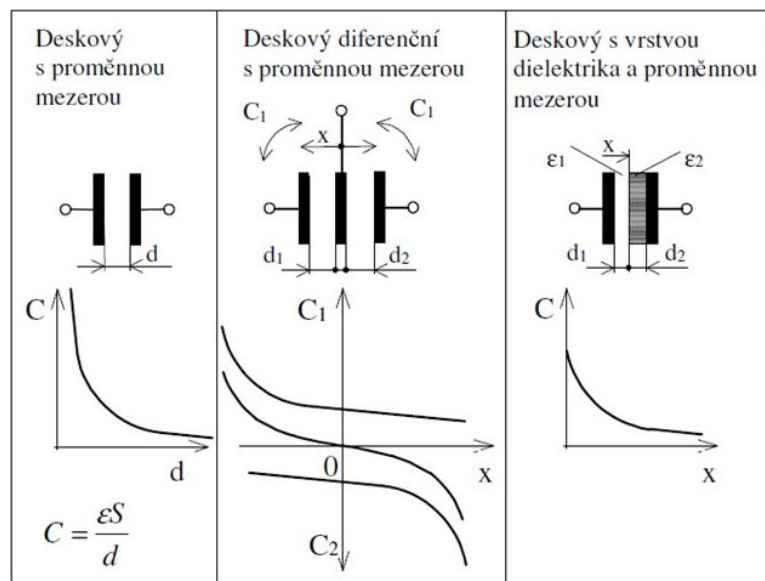
Vezme-li se v úvahu jednoduchý deskový kondenzátor, pak všechny tyto principy vycházejí ze vztahu[1]

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}, \quad (2.10)$$

kde  $d$  je vzdálenost elektrod,  $S$  plocha elektrod kondenzátoru,  $\varepsilon_0$  permitivita vakua,  $\varepsilon_r$  relativní permitivita měřeného prostředí.[1][6]

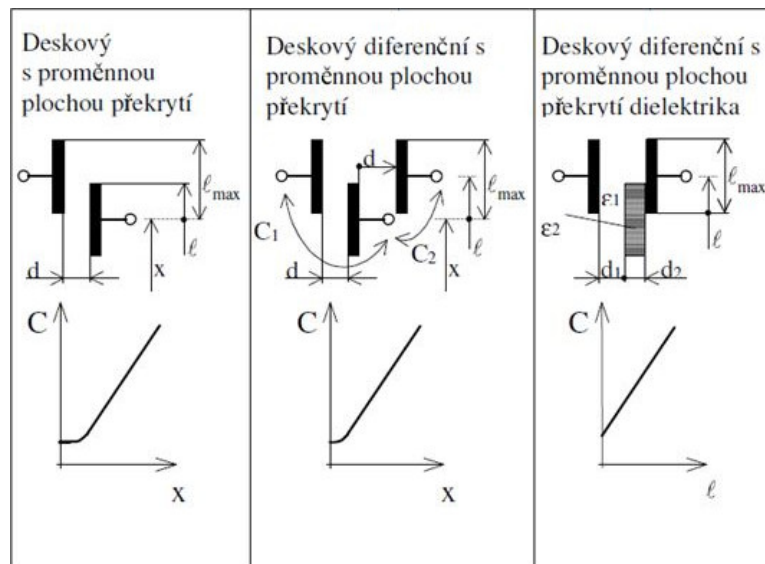
Na obrázku 2 jsou zobrazeny tři typy kapacitních snímačů s pevnou plochou překrytí elektrod. U všech těchto snímačů dochází ke změně kapacity na základě změny vzdálenosti elektrod. Změna vzdálenosti je způsobena působením tlaku na pohyblivou elektrodu. Většinou pohyblivá elektroda bývá citlivá a elastická. Z závislosti na obrázku 2 je zřejmé, že tyto kapacitní snímače jsou nelineární, tedy závislost změny kapacity na změně vzdálenosti elektrod má nelineární charakter. Typ nelinearity lze odvodit z rovnice 2.10, kdy při změně vzdálenosti  $d$  má průběh kapacity hyperbolický charakter. Díky této skutečnosti je vhodné využít tyto snímače pro snímání velmi malých změn vzdálenosti, jelikož jak je zřejmé, při malé změně vzdálenosti pak dochází k velké změně kapacity.[1]

Jako další princip snímání tlaku pomocí kapacitních snímačů, lze využít princip změny překrývajících se ploch kondenzátoru. Opět jsou na obrázku 3 zobrazeny tři základní typy snímačů



Obrázek 2: Průběh změny kapacity pro kapacitní snímače s pevnou plochou překrytí [3]

pracující na principu změny plochy, popř. změny překrytí dielektrika. Stejně jako v předešlém případě, dochází ke změně vzdálenosti pomocí tlakového působení na jednu z elektrod, popř. na dielektrikum. Jak je zřejmé z grafu na obrázku 3, v určité části grafu dochází k lineárnímu nárůstu kapacity v závislosti na ploše překrývajících se elektrod či ploše dielektrika. Nicméně deskový kondenzátor s proměnnou plochou překrytí a deskový diferenční kondenzátor s proměnnou plochou překrytí obsahují při malých změnách působené veličiny pásmo necitlivosti. Proto tyto typy nejsou vhodné pro malé změny působené veličiny.



Obrázek 3: Průběh změny kapacity pro kapacitní snímače s pevnou vzdáleností ploch [3]

### 3 Deska plošného spoje

Deska plošného spoje ve zkratce DPS se v elektronice využívá k realizaci elektrických obvodů. Deska se skládá z vodivé a nevodivé části. Na desku jsou připájeny komponenty, které pak dohromady tvoří elektrické zařízení.

První část kapitoly bude věnována materiálu, který se používá k vedení elektrického proudu. Budou popsány jak mechanické, tak elektrické vlastnosti, se kterými musí návrhář při návrhu DPS počítat. Druhá část již bude věnována základnímu materiálu DPS, kde budou popsány druhy používaných materiálů a jejich složení.

#### 3.1 Měděná fólie

Jako vodivá část DPS se využívá měděná fólie, která je vytvářena elektrolyticky. Díky tomu je dosaženo čistoty fólie až na 99 %. Dále se vlastnost fólie vyznačuje dobrou adhezí k základnímu materiálu. Adheze však závisí na faktorech jako teplota, šířka vodiče, druh základního materiálu, výrobní postup aj.[8][9]

Na vlastnosti měděné fólie jsou kladeny požadavky, které můžeme rozdělit do dvou kategorií:

- mechanické,
- elektrické.[9]

##### 3.1.1 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti se dají dále rozdělit na:

- tloušťku fólie,
- pevnost v loupání fólie.

Tloušťka fólie je odvozena z anglosaských jednotek. Jedná se o váhu mědi, která je vyjádřena v uncích na čtvercovou stopu. Jednotka se tedy značí  $oz/ft^2$ . Převážně jsou využívány tři tloušťky fólie, a to  $0,5 oz/ft^2$ ,  $1 oz/ft^2$  a  $2 oz/ft^2$ . Nejčastěji používanou tloušťkou je  $1 oz/ft^2$ , což odpovídá přibližně  $35 \mu m$ . Tyto spoje jsou využívány pro běžné aplikace. Silnější fólie  $2 oz/ft^2$  (v přepočtu je to přibližně  $70 \mu m$ ) jsou vyžadovány v konstrukci, u kterých je nutná odolnost proti otřesům. Například se může jednat o automobilový průmysl. Naopak  $0,5 oz/ft^2$  (přibližně  $17 \mu m$ ) je používána pro konstrukci velice jemných spojů.[8][9]

Další vlastnost folie je pevnost v loupání. Vlastnost je určena měrnou silou na jednotku šířky. Jedná se o sílu, která je potřebná k odloupení měděné fólie od povrchu základního materiálu. Lze ji vyjádřit při pokojové teplotě či teplotním namáhání. Za teplotní namáhání je brán například ohřev při pájení. Nyní budou uvedeny hodnoty pro pevnost v loupání měděné fólie, kdy šířka vodiče je 0,8 mm.

- Materiál FR2 (papír impregnovaný fenolickou pryskyřicí) - 0,8 N/mm,

- materiál FR3 (papír a epoxid) - 1,1 N/mm,
- materiál FR4 (skelný laminát a epoxid) - 1,1 N/mm. [8][9]

### 3.1.2 Elektrické vlastnosti

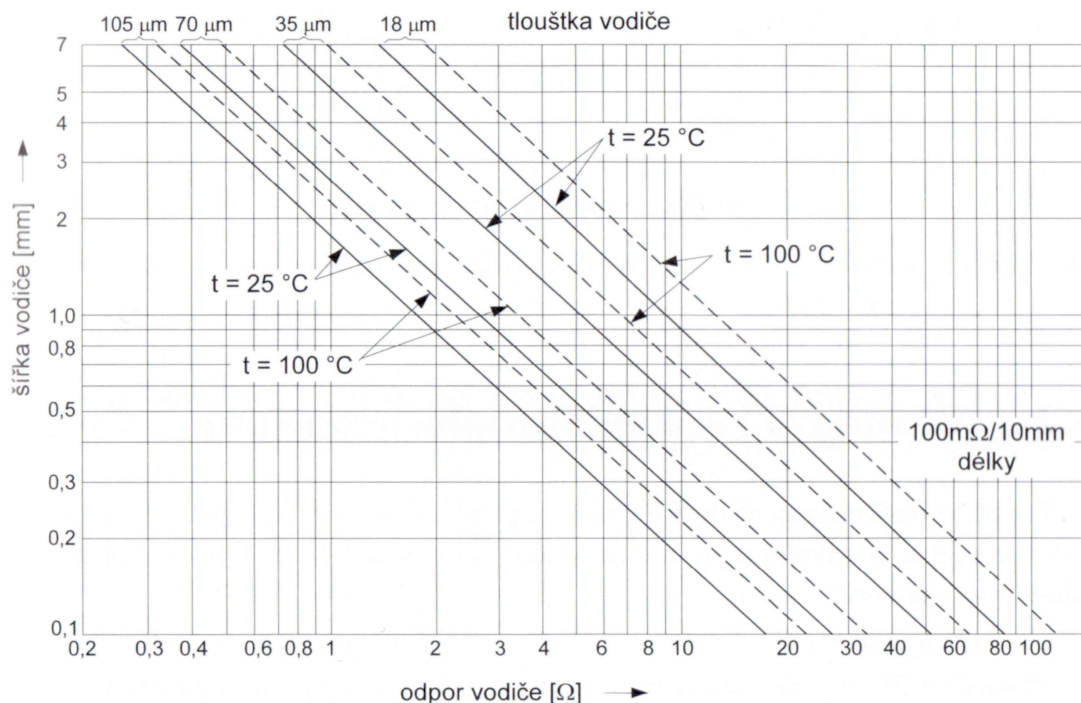
Elektrické vlastnosti měděné fólie se také dají dále rozdělit na:

- elektrická rezistivita spoje,
- proudovou zátížitelnost spoje,
- povolené mezní napětí spojů,
- parazitní indukčnost a kapacitu atd.

Nyní budou podrobně popsány jednotlivé vlastnosti.[8]

#### 3.1.2.1 Elektrická rezistivita spoje

Je známo, že reálný vodič má vždy nenulovou rezistivitu, a ani plošný spoj tomu není výjimkou. Jak již bylo dříve zmíněno, jako materiál pro vedení elektrického proudu je používána měď. Měď, jako materiál má rezistivitu  $1,8 \cdot 10^{-6} \Omega \text{cm}$ . Dále je zřejmé, že rezistivita spoje je ovlivněna tloušťkou a šířkou měděné fólie. Na obrázku 4 je zobrazena závislost šířky vodiče na jeho rezistivitě, kde jsou také popsány jednotlivé tloušťky fólie.[8]



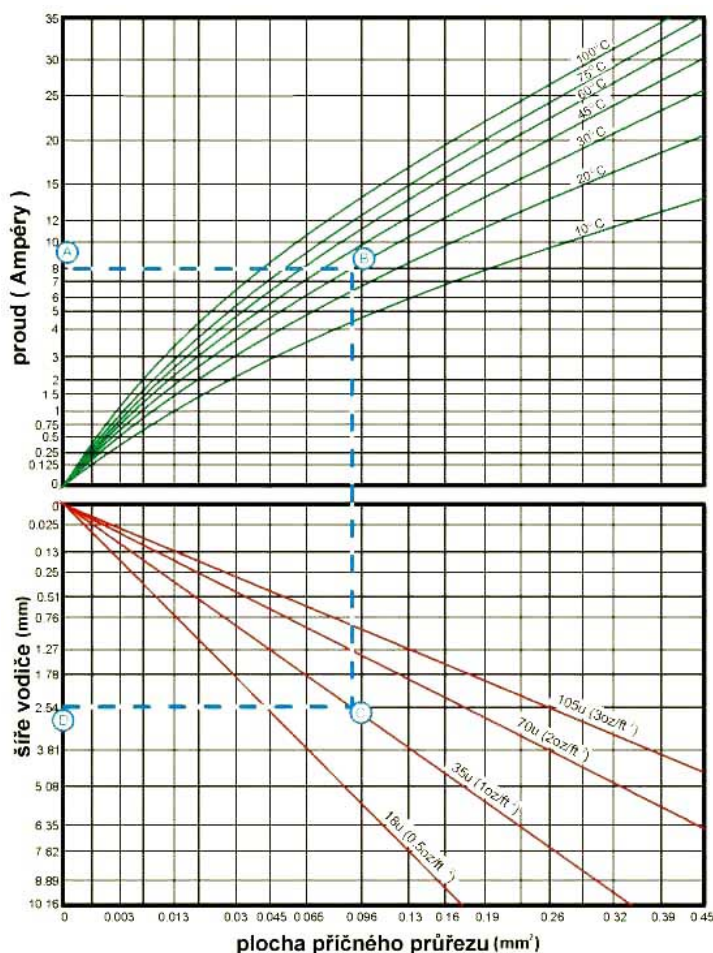
Obrázek 4: Velikost rezistivity plošného spoje, pro danou šířku, tloušťku a teplotu[8]



### 3.1.2.2 Proudová zatížitelnost spoje

Jedná se o podstatnou vlastnost, na kterou musí návrhář brát ohled při návrhu DPS. Po srovnání proudové zatížitelnosti plošného a drátového spoje je zřejmé, že plošné spoje mají proudovou zatížitelnost přibližně 5x větší. Například, měděný drát s průřezem  $0,07 \text{ mm}^2$  je přetaven při proudu 15 A. Avšak plošný spoj o stejné ploše (tloušťkou fólie  $35 \text{ }\mu\text{m}$ ) je přetaven až při proudu 60 A. Důvodem je lepší odvod tepla přes základní materiál. [8][9]

V grafu na obrázku 5 je zobrazena závislost oteplení spoje na procházejícím proudu, šířce a tloušťce spoje. Návrhář musí být obeznámen s proudovou zatížitelností v celém obvodu. Na základě této skutečnosti návrhář volí šířku spoje, popřípadě tloušťku měděné fólie. Výběr šířky spoje bude uveden na příkladu. Požadovaný protékající proud plošného spoje je určen na 8 A (bod A) a maximální tepelný nárůst je stanoven  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  (bod B). Tloušťka spoje je zvolena  $35 \text{ }\mu\text{m}$  (bod C). V bodě D lze pak odečíst požadovanou šířku spoje, což odpovídá šířce 2,54 mm. [11]

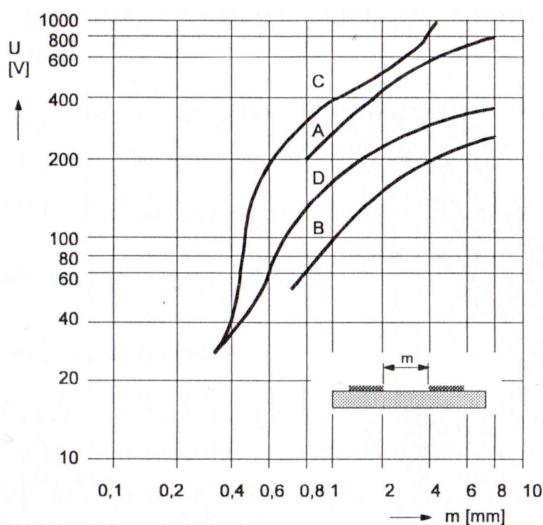


Obrázek 5: Proudová zatížitelnost plošného spoje [11]

### 3.1.2.3 Povolené napětí mezi vodiči, izolační mezery

Povolené napětí mezi vodiči je závislé na několika faktorech. Mezi tyto faktory patří například typ základního materiálu, ochranná vrstva, typ prostředí a izolační mezery. Izolační mezery nemohou být příliš malé, jelikož mohou vznikat problémy při nanášení nepájivé masky či leptání. Nicméně čím jsou izolační mezery větší, tím se navyšuje velikost desky. Proto konstruktér musí zvolit optimální mezery. [8][9]

V grafu na obrázku 6 je zobrazena závislost napětí mezi plošnými spoji na velikosti izolační mezery při různých atmosférických výškách. Konstruktér může využít tento graf pouze v případě, že neplatí zvláštní bezpečnostní pravidla. [8][9]



Obrázek 6: Závislost napětí mezi plošnými spoji na šířce izolační mezery (tloušťka Cu je  $35 \mu\text{m}$ ) [9]

Kdy průběhem funkce A je znázorněn nelakovaný spoj do výšky 3 000 m, průběhem funkce B je zobrazen opět nelakovaný spoj, nyní již do výšky 15 000 m, průběhem funkce C je vyjádřen lakovaný spoj do výšky 3 000 m a průběhem funkce D je znázorněn lakovaný spoj do výšky 15 000 m.[9]

### 3.1.2.4 Parazitní indukčnost a kapacita

Parazitní kapacita se může vyskytovat mezi vrstvami spojů, popř. mezi jednotlivými spoji nebo spojem a stíněním. Jedná se o to, že na desce je vytvořen kondenzátor, kdy elektrody jsou tvořeny plošnými spoji oddělené určitým dielektrikem (vzduch, základní materiál DPS atd.). Velikost parazitní kapacity je závislá na velikosti překrývajících se ploch, vzdálenosti těchto ploch od sebe a materiálové konstantě, která je taky známá jako relativní permitivita. [8][9]

Parazitní indukčnost je závislá na tloušťce měděné fólie, šířce vodiče a velikosti izolační mezery. Nicméně parazitní indukčnost nemusí být vždy nežádoucí. Díky této vlastnosti je možné

vytvořit cívku přímo na plošném spoji. Jakost cívky je závislá na vlastnosti základního materiálu DPS, šířce vodiče, mezery a tvaru cívky. [9]

### 3.2 Základní materiál desky plošných spojů

Základní materiály pro DPS lze rozdělit do dvou skupin, a to organické a neorganické materiály. Častěji jsou používány organické materiály, které jsou využívány jako neohebné DPS a mají příznivé mechanické vlastnosti s relativně nízkou cenou. Tyto materiály jsou složeny vždy z organické pryskyřice, známe také jako pojivo (např. termosety či termoplasty) a vhodné výztuže. Pomocí výztuže materiálu jsou určeny jeho mechanické vlastnosti. Jako výztuž lze použít papír, skelné, grafitové, uhlíkové vlákno atd. Organických materiálů je celá řada, ale nejčastěji jsou využívány materiály s epoxidovou pryskyřicí. Materiály jsou většinou označovány FR, což je označení pro *Fire Resist*. Toto označení je převzato z normy NEMA. Nyní budou uvedeny dva nejpoužívanější materiály:

- **FR-3** - jako pojivo je zde použita epoxidová pryskyřice a výztuž je tvořena vrstveným papírem. Dále v materiálu jsou obsaženy látky, které zpomalují hoření. Mezi výhody materiálu patří dobré elektrické vlastnosti, snadná obrobitelnost, rozměrová stálost a malá nasákavost. Cena materiálu je nižší než FR-4, přibližně se jedná asi o 65 % ceny FR-4.
- **FR-4** - je jeden z nejčastěji používaných materiálů. Jako výztuž je využita skelná tkanina. Jedná se o nehořlavý materiál vyznačující se dobrými elektrickými a mechanickými vlastnostmi. Lze použít do frekvencí až 40 MHz. [8][9]

U neorganických materiálů je také možné se setkat s označením anorganické materiály. Jedná se o neohebné materiály, které mají oproti organickým materiálům určité výhody. Mezi tyto výhody může patřit:

- velmi dobrá tepelná odolnost,
- malá hodnota TCE,
- dobrá chemická odolnost.

Nicméně existují také nevýhody oproti organickým materiálům, a těmi jsou:

- vyšší cena a hmotnost,
- křehkost,
- rozměrová limitace,
- toxicita některých typů.

Dále jsou neorganické materiály používány ve spojení s technologií tenkých či tlustých vrstev. Patří zde materiály jako korundová keramika (oxid hlinitý), beryliová keramika, aluminium-nitrid AlN.[8][9]

## 4 Programy pro návrh plošných spojů

Kapitola bude obsahovat řešerši návrhových programů pro tvorbu plošných spojů, kde budou popsány výhody využití návrhových programů pro tvorbu DPS a programů pro tvorbu 3D modelů.

V minulosti byl ruční návrh jedinou možnou cestou návrhu plošného spoje. Nicméně nyní s vývojem techniky jsou pro tvorbu plošného spoje převážně používány návrhové programy. Mezi tyto programy patří například ORCAD, EAGLE, Altium Designer, PADS, INTEGRA a EXPEDITION PCB, FORMICA, LSD2000 apod. Důvod přechodu z ručního návrhu na počítačový návrh sebou nese obrovské výhody, kterými jsou:

- rychlejší tvorba návrhu (hlavně při použití nástroje *autorouter*),
- využití normovaných knihoven, které obsahují schématické značky, pouzdra součástek a jejich *footprinty*,
- možnost nastavení pravidel návrhu DPS,
- omezení nebo vyloučení chyby způsobené lidským faktorem,
- digitalizace a tedy snadnější archivace,
- snadná generace souborů pro výrobu.

Nicméně přináší i svou nevýhodu, a tím je cena návrhových programů. Návrhové programy jsou většinou velice drahé a tudíž návrhářem musí být zvažena i ekonomická stránka věci. Pro profesionální návrhové programy se cena obvykle pohybuje v řádu stovek tisíc Kč a končí v částkách blízcích se milionu Kč. Je možné i zvolit levnější varianty, které však nedosahují takových kvalit jako výše zmíněné programy. Jejich cena se pohybuje řádově okolo tisíců až deseti tisíců Kč.[8][12]

### 4.0.1 EAGLE

Jedná se o jeden z nejznámějších návrhových programů na světě. Počátky programu sahají až do roku 1988. EAGLE je rozdělen do třech verzí:

- EAGLE Free,
- EAGLE Standart
- EAGLE Premium.

Samořejmě jednotlivé verze se mezi sebou liší. Ve verzi EAGLE Free je možnost tvorby dvou schématických výkresů v jednom projektu, maximálně dvě signálové vrstvy a velikost desky maximálně  $80\text{ cm}^2$ . Ve verzi EAGLE Standart je povoleno až 99 schématických výkresů v projektu, až 4 signálové vrstvy a maximální velikost desky je  $160\text{ cm}^2$ . Ve verzi EAGLE Premium

je umožněno až 999 schématických výkresů v projektu, 16 signálových vrstev a velikost desky je neomezená. Vlastníkem tohoto návrhového programu je firma Autodesk. Program je možné zakoupit prostřednictvím jejich webu.[13] [14]

#### **4.0.2 Altium Designer**

Altium Designer je jedním z dalších úspěšných návrhových programů. Hlavní předností programu je moderní vzhled a možnost tří dimenzionální vizualizací elektroniky. Aktualizace produktu Altium Designer je současně ustálena na dvou aktualizacích za rok. Jedná se o letní aktualizaci, také nazývanou *Summer release* a zimní aktualizaci - *Winter release*. Altium Designer obsahuje kromě nástrojů pro tvorbu plošných spojů, také návrh programu pro CPU, konfiguraci CPLD a FPGA obvodů, obvodovou simulaci a je možno vytváření jednoduchých GUI.[15][13]

#### **4.0.3 Proteus**

V programu je možnost návrhu schémat, DPS a také 3D vizualizace elektroniky. V simulační části je obsaženo kolem 6 000 modelů a k tomu 12 virtuálních přístrojů, pomocí nichž je možno simulovat funkci daného obvodu. Mezi modely jsou obsaženy také procesory, kdy pro simulaci funkce stačí do virtuální komponenty nahrát hex soubor, který obsahuje daný program. Pro návrh DPS je možné využít dnes už běžný nástroj *autorouter*. Pro 3D vizualizaci je možno použít 3D modely přímo od výrobce či vytvoření si svých vlastních. [13]

## 5 Návrhové programy pro tvorbu 3D modelů

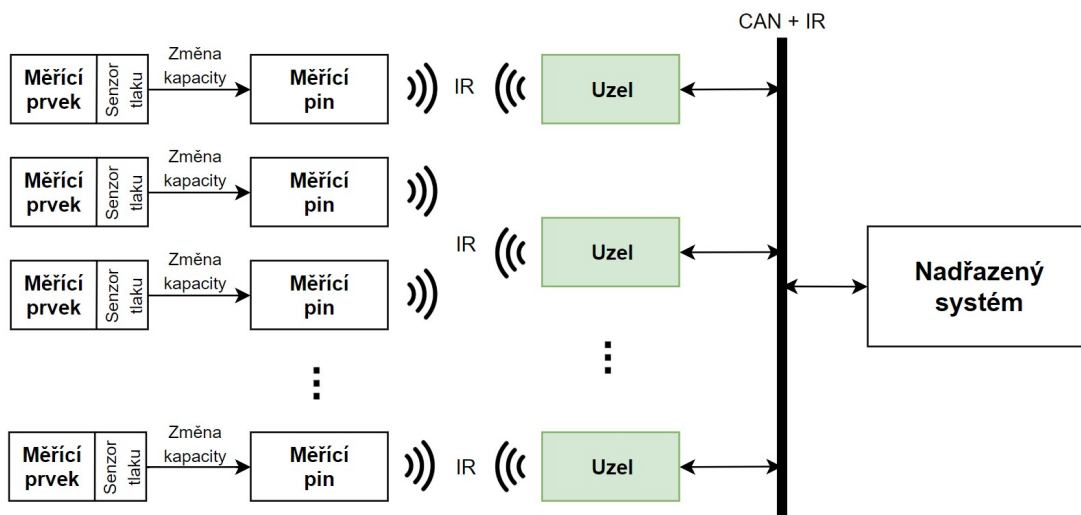
V současné době je častěji žádáno 3D vizualizace elektroniky, ať už z důvodu náročnosti na prostor nebo pro zkvalitnění prezentace. Právě zde mají programy pro tvorbu 3D modelů své uplatnění. V dnešní době se na trhu objevují programy jako je Inventor, SolidWorks, AutoCAD apod. Opět se nejedná o levnou záležitost, kdy za tříletou licenci uživatel zaplatí okolo 120 až 200 tisíc Kč. Nicméně je zde možnost zvolit i program jako FreeCAD, který je zcela zdarma.[16][17]

### 5.0.1 Inventor

Jedná se o produkt společnosti Autodesk stejně jako program EAGLE. V programu je umožněn parametrický 3D návrh a je určen pro strojírenské navrhování 3D digitálních modelů. Proto je v programu Inventor obsaženo mnoho nástrojů pro 3D návrhy strojírenských součástí a sestav. Následně je možno z daného modelu snadno vytvořit výkresovou dokumentaci. Program Inventor je ve třech verzích, a to Inventor LT, Inventor a Inventor Professional. Inventor LT, kdy zkratka LT znamená *Limited Technology*, má svá určitá omezení oproti dalším verzím. Jedním z těchto omezení je absence nástroje pro sestavy dílů. Ve verzi Inventor jsou obsaženy veškeré funkce již zmíněné LT verze. Navíc je zde již obsažen nástroj pro práci se sestavami a tudíž i výkresová dokumentace umožňuje tvorbu výkresů těchto sestav. Dále je možnost tvorby plechových dílů. Verze Inventor Professional je již verze, která umožňuje profesionální strojírenské návrhy. [18]

## 6 Zařízení pro měření tlaku

Zařízení je složeno ze čtyř částí. Z nadřazeného systému, pomocí kterého je prováděno řízení komunikace a zpracovávání dat. Dále ze spojovacích Uzlů, díky kterým je zajištěno spojení mezi měřicími piny a nadřazeným systémem. V neposlední řadě z měřících pinů a měřících prvků. Pomocí nichž jsou získávány informace o změně kapacity. Veškeré části měřicího systému jsou zobrazeny na obrázku 7. Pro měření tlaku je využit kapacitní snímač. Získaná data o změně



Obrázek 7: Měřicí řetězec

kapacity na základě změny působení tlaku, jsou zpracována a poslána pomocí IR komunikace. Data pak jsou přijímána snímací částí Uzlu. V Uzlu jsou data skládána a jsou provedeny kontrolní součty. Po zpracování jsou data poslána pomocí CAN komunikace do nadřazeného systému. Zde jsou data dále zpracována pro vizualizaci a další práci.

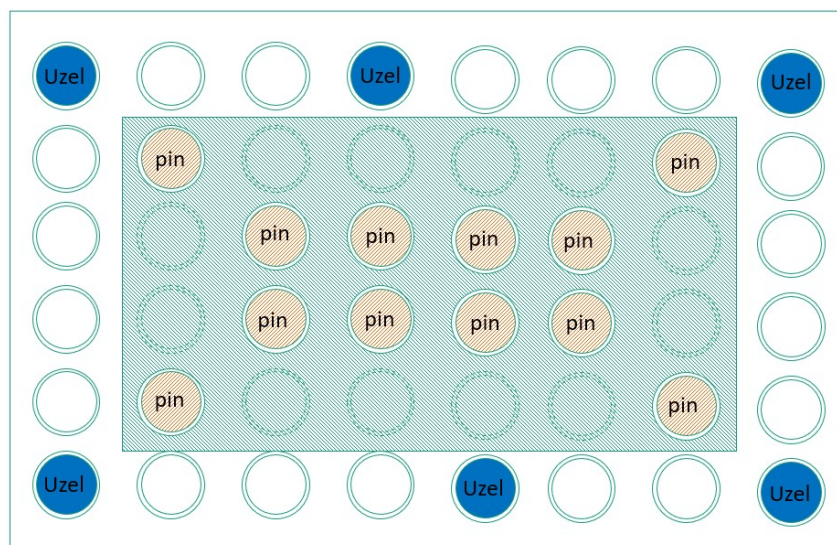
### 6.1 Zadání návrhu

Předmětem práce byl návrh elektroniky spojovacího Uzlu. Zařízení Uzel bude umístěno do otvoru kruhového průřezu o průměru 39 mm. Z toho plynou jasná omezení na šířku DPS, použití a umístění součástek z důvodu jejich výšky.

Zařízení pro měření tlaku bude obsahovat více těchto Uzlů, které budou umístěny kolem pinů, jak je zřejmé z obrázku 8. Proto je požadováno, aby zařízení přijímalo IR záření a vysílalo IR záření do (popř. ze) všech stran.

### 6.2 Návrh mechanického řešení

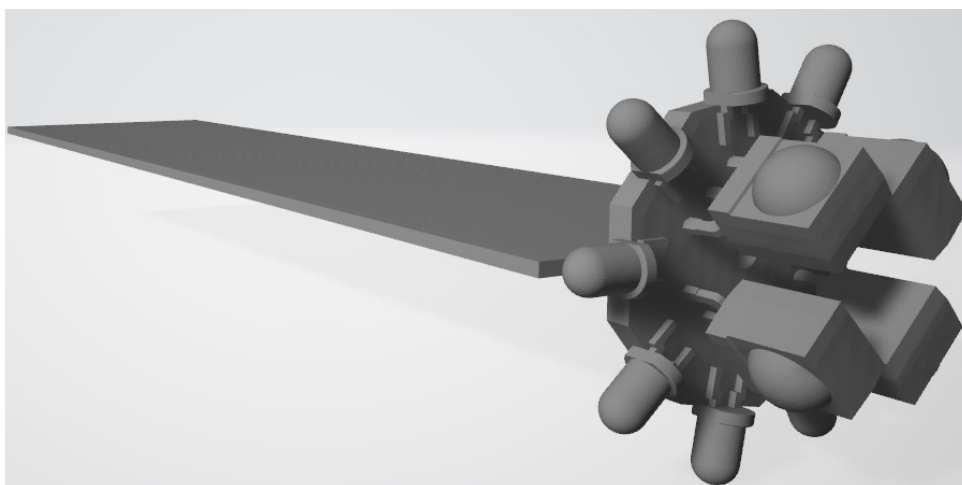
Jelikož je požadováno, aby zařízení vysílalo a přijímalo IR záření ze (popř. do) všech stran, proto bylo navrženo řešení dle obr. 9. Jak lze vidět, zařízení je složeno ze dvou DPS. Tyto desky byly pracovně nazvány jako hlavní deska a deska terčíku. Terčík má tvar devítiúhelníku.



Obrázek 8: Umístění Uzlů a pinů v zařízení

Na terčíku budou umístěny vysílače a přijímače. Pro desku terčíku s ohledem náročnosti na prostor, bude zvolena čtyřvrstvá technologie. Jako vysílač bude zvolena klasická 3mm LED. Tyto LED budou připájeny na měděné plošky desky terčíku, tak aby byly vystrčeny za hranu desky. Přijímače budou tvořeny klasickými IR přijímači. Tyto přijímače jsou k sobě vzájemně pootočený o 90°, což nabízí s ohledem na omezení místa nejlepší pokrytí. Propojení hlavní desky s terčíkem bude provedeno přes prokovené otvory v hraně hlavní desky a měděné plošky na desce terčíku. Pro případné zpevnění bude využit šroub, který zpevní spoj mezi hlavní deskou a terčíkem.

Rozměr hlavní desky byl navrhnout 30 mm na šířku a 120,5 mm na délku. Kruhový průměr otvoru, do které bude zařízení umístěno, je 39 mm, a tedy šířka 30 mm je vyhovující, jelikož deska bude ještě umístěna do krytu. Kvůli složitosti zařízení byla zvolena čtyřvrstvá deska.



Obrázek 9: Návrh konstrukce desky



## 7 Návrh knihovny

Jako návrhový program byl využit Altium Designer(v14.3). V tomto prostředí byla také vytvořena integrovaná knihovna. Jako u jiných návrhových programů, tak i zde dochází k tvorbě *footprintu* a schématického symbolu nezávisle na sobě. Později jsou pak ke schématické značce přiřazeny příslušné *footprinty* dané komponenty. Z toho vyplývá, že daná schématická značka může obsahovat více *footprintů*. Například rezistor má jednu schématickou značku, avšak provedení je možné ve více pouzdrech, a to např. 0603, 0805 atd.

### 7.1 Návrh footprintu

V podkapitole budou rozebrány použité nástroje v Altium Designeru, které byly využity při tvorbě návrhu *footprintů*. Bude také osvětlen pojem vrstvy, jejich rozdělení a využití jednotlivých vrstev.

#### 7.1.1 Vrstvy

Altium Designer pracuje v tzv. vrstvách. Vrstvy jsou využity k rozdělení informací o objektech na plošném spoji. Mohou obsahovat vrchní *footprint*, spodní *footprint*, popisky a obrysy součástí, motiv nepájivé masky atd. Tato vlastnost je vhodná pro tvorbu výrobní dokumentace, kdy si vývojář může zvolit danou vrstvu či skupinu vrstev k podání potřebné informace. Je také možné jednotlivé vrstvy skrývat, měnit barvy, což opět zvýhodňuje a ulehčuje práci při návrhu.

V Altium Designeru se objevují dva druhy vrstev, a to ty které jsou jasně definované (např. vrstva Top, Bottom) a mechanické vrstvy (definici si určuje návrhář). Ve vrstvě s označením *Top* je obsažen motiv plošného spoje z horní strany DPS. Naopak ve vrstvě *Bottom* je motiv plošného spoje ze spodní strany DPS. Ve vrstvě s označením *Overlay* jsou ukryty popisky a obrysy pouzder. Pozornost si zaslouží vrstva s označením *KeepOutLayer*. Pokud v této vrstvě je nakreslen nějaký objekt (polygon, čára, obdélník atd.), tak v jiné vodivé vrstvě se nesmí na tomto místě nacházet žádný jiný objekt, polygony tuto oblast nevyplňují. *DrillGuide* a *DrillDrawing* jsou vrstvy určené pro vytváření vrtacích výkresů. Ve vrstvě *Multilayer* jsou obsaženy objekty, které se nachází ve více vrstvách, prakticky se jedná o vrtané otvory či prokovené otvory. Ve vrstvách *Solder* a *Paste* jsou obsaženy informace o nepájivé masce a vyznačení oblasti kde má být nanесena pájecí pasta.[19]

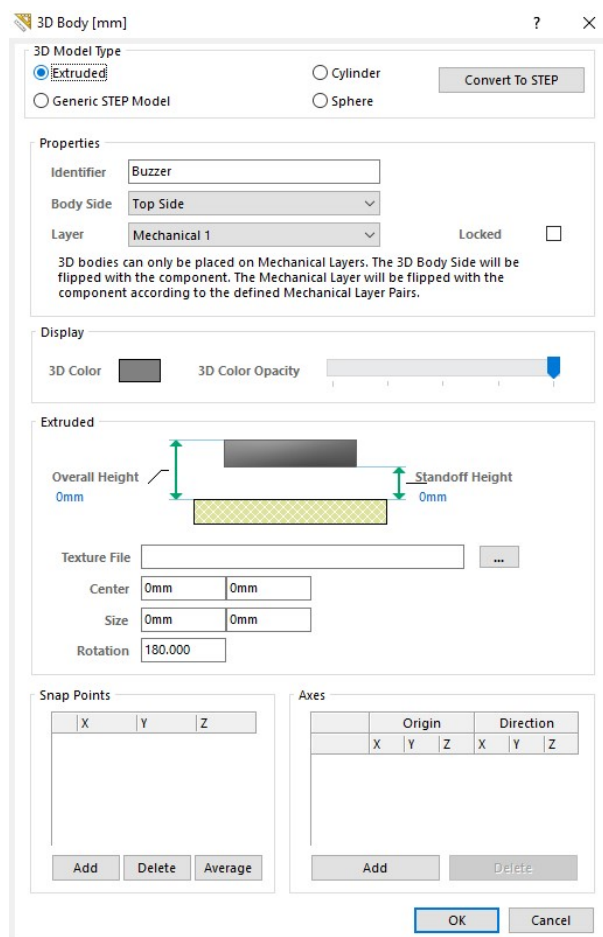
Jak již bylo dříve zmíněno v návrhovém prostředí jsou tzv. mechanické vrstvy. Tyto vrstvy jsou volně definované a návrhář může využívat jednotlivé vrstvy dle vlastní definice. Avšak je vhodné tyto definice používat pro celý projekt stejně. V našem případě byly využity následující mechanické vrstvy s definicí:[19]

- Mechanical 1 - obrys desky,
- Mechanical 2 - popisky na desce,

- Mechanical 8 - 3D modely,
- Mechanical 15 - osazovací okolí,
- Mechanical 16 - střed součástky.

### 7.1.2 Nástroj pro tvorbu 3D modelů

V Altium designeru je možnost tvorby 3D modelů daných komponentů. Tyto modely jsou tvořeny nebo vkládány přímo v návrhovém prostředí pomocí jednoduchého nástroje *3D Body*. Tato nabídka (zobrazena na obrázku 10) nabízí různé typy 3D modelů. První typ (*Extruded*) umožňuje nakreslit jakýkoli dvojrozměrný model a zadáním výšky modelu a jeho vzdálenosti od počátku v Z ose, je vytvořen 3D model. Dále je možno tvořit modely ve tvaru válce (*Cylinder*) nebo koule (*Sphere*). U těchto modelů je taky možnost úpravy barvy. Poslední možností tvorby 3D modelu je přímý vklad souboru ve formátu *step*. To umožní tvorbu 3D modelu v jiném, vhodnějším prostředí pro danou komponentu. Tato poslední varianta byla v projektu použita nejčastěji.



Obrázek 10: Nabídkové okno 3D Body

### 7.1.3 Nástroj pro tvorbu footprintu komponenty

V Altium Designeru je také zabudován nástroj pro tvorbu *footprintu* a 3D modelu různých pouzder. Jedná se o průvodec, kde je v první řadě definován typ pouzdra (SOT23, BGA, PQFP atd.). Poté dle zvoleného pouzdra jsou vyplněny požadující parametry jako je délka a šířka pouzdra, rozteč, šířka nožky a mnoho dalších. Po vyplnění parametrů je automaticky vytvořena součástka s *footprintem*, potiskem, 3D modelem, obrysem pouzdra atd. V našem případě nebyly využity vytvořené 3D modely, ale pomocí již dříve zmíněného nástroje *3D Body* byly vkládány modely ve formátu step.

### 7.1.4 Určení výšky komponenty

Ve *footprintu* komponenty jsou obsaženy vlastnosti jako je název, popis a výška. Na tuto výšku je potom brán zřetel při návrhu DPS, kdy v návrhových pravidlech lze nastavit maximální výšku součástek. Díky tomu návrháři je ihned při návrhu signalizováno, že daná součástka má větší výšku než maximální definovaná výška.

## 7.2 Tvorba schématických značek

Jedná se o část návrhu, kdy je vytvářena schématická značka elektrické komponenty, která bude následně umístěna do schématu. V této podkapitole budou rozebrány jednotlivé nástroje a nastavení, které byly využívány při návrhu schématických značek.

### 7.2.1 Dialogové okno pro nastavení vlastností schématického symbolu

Každá komponenta zobrazena schématickou značkou obsahuje dané vlastnosti, které jsou definovány v okně *Library Component Properties*. Tato nabídka je zobrazena na obrázku 11. K otevření nabídky je možné dvakrát kliknout na název komponenty (popř. na samostatnou komponentu) nebo pomocí menu *Tools -> Component Properties*.

V záložce *Properties* a kolonce *Designator* je zadáván název prvku s otazníkem, kdy otazník je pak nahrazen číslem, které se bude inkrementovat v závislosti na počtu využití prvku ve schématu. Podstatnou kolonkou je kolonka *Type*, ve které je obsaženo sedm možností. Jedná se o *Standart*, *Standart (No BOM)*, *Mechanical*, *Graphical*, *Net Tie*, *Net Tie (In BOM)*.

- **Standart** - jedná se o běžnou komponentu, ve které je obsažen *footprint* a je uvedena v seznamu součástek.
- **Standart (No BOM)** - jediný rozdíl oproti předchozího typu je, že komponenta není uváděna v seznamu součástek.
- **Mechanical** - tento typ komponenty může, ale i nemusí být zastoupen na DPS. Je uvedena v seznamu součástek. Může se jednat například o chladič atd.

Properties for Schematic Component in Sheet [IR\_NODE\_schematic.SchDoc]

**Properties**

Designator: P? ☐ Visible ☐ Locked

Comment: 579-PIC18F26K80-E/SS ☒ Visible ☐ Locked

Description: PIC18F26K80

Unique Id: IIDAQVA

Type: Standard

**Link to Library Component** ☐ Use Vault Component

Design Item ID: PIC18F26K80

☒ Library Name: SmartCushionPin\_Library.IntLib

☐ Table Name:

**Graphical**

Location X: 250 Y: 360

Orientation: 0 Degrees ☐ Locked

Mode: Normal ☒ Lock Pins ☐ Mirrored

☐ Show All Pins On Sheet (Even if Hidden)

☐ Local Colors

**Parameters**

Visible	Name	Value	Type
<input type="checkbox"/>	ComponentLink1Descriptic	datasheet	STRING
<input type="checkbox"/>	ComponentLink1URL	http://ww1.microchip.com/downloa	STRING
<input type="checkbox"/>	DatasheetVersion	2011	STRING
<input type="checkbox"/>	OrderingNumber	579-PIC18F26K80-E/SS	STRING
<input type="checkbox"/>	OrderingNumberDescriptic	Mouser	STRING
<input type="checkbox"/>	PackageDescription	SOP, 28-Leads, Body 10,20x5,30mm	STRING
<input type="checkbox"/>	PackageReference	SSOP-28N	STRING

**Models**

Name	Type	Description	Vault	Item Rev...	Revision...
SSOP-28N	Footprint	SOP, 28-Leads, Body 10,20x5,30m			[Unknown]

Obrázek 11: Nabídkové okno symbolické značky

- **Graphical** - jedná se pouze o grafickou komponentu, která není obsažena v seznamu součástek.
- **Net Tie** - jedná se o součást, která je tvořena pouze *footprintem*, neuvádí se v seznamu součástek. Může se například jednat o antény.
- **Net Tie (In BOM)** - rozdíl oproti předešlého typu je, že komponenta je uvedena v seznamu součástek. [19]

V záložce s názvem *Parameters* je umožněno definovat a přidávat různé potřebné parametry součástky. U každého parametru je možné zvolit viditelnost, barvu textu, umístění a formátový typ. V našem případě byly zvoleny následující parametry:

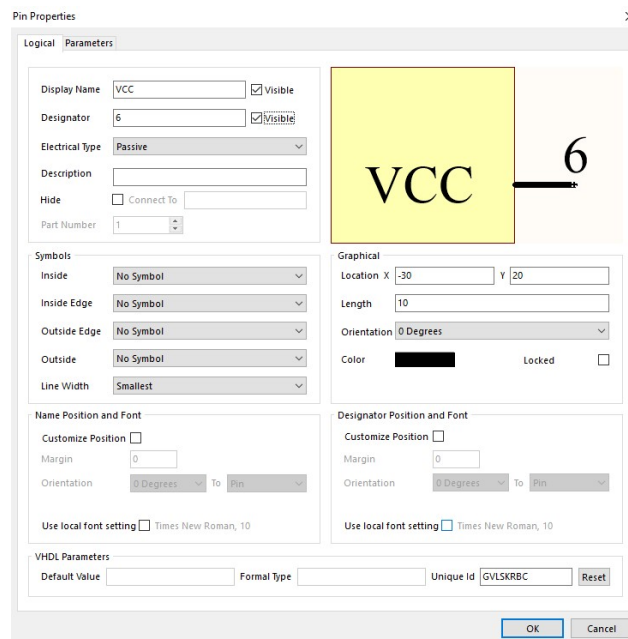
- *OrderingNumberDescription* - zde je zapsán dodavatel.
- *ComponentLink1URL* - odkaz na datasheet.
- *PackageDescription* - popis pouzdra.
- *PackageReference* - reference pouzdra.
- *DatasheetVersion* - verze datasheetu.
- *OrderingNumber* - objednávací číslo.

- *Value* -hodnota.

Jako poslední je zde záložka *Models*. Právě zde je provedeno propojení *footprintu* dané komponenty se schématickým symbolem. Při spojení je nutné zkontrolovat zda platí označení plošek *footprintu* komponenty s označením pinu schématického symbolu.

### 7.2.2 Nástroje pro návrh schématického symbolu

Kromě klasických objektů, jako je například čára, obdélník, obdélník se zakulacenými rohy, kružnice, elipsa, polygon, bitmapový obrázek, textový řetězec a mnoho dalších, je v Altium Designeru také obsažen objekt pin. Jedná se o objekt, který je spojen s měděnou ploškou *footprintu*. Spojení je definováno přes *designator*, který musí být totožný jak ve schématickém symbolu tak i ve *footprintu*. V objektu je obsaženo mnoho nastavení. Například nastavení elektrického typu, kdy se určuje, zda je pin výstupní, vstupní, s otevřeným kolektorem, s otevřeným emitorem, pasivní, vstupně výstupní, napájecí a HiZ. Dále je možnost zvolit, zda bude pin viditelný či nikoli. V případě, kdy pin není viditelný je také možné ho přímo připojit na daný vodič s určitým názvem. V našem případě je tato funkce využita při komponentě AND a NOT, kdy oba prvky mají napájecí kontakty. Nicméně tyto piny nejsou vyznačeny ve schématické značce, proto byla využita tato vlastnost. Dále jsou možné grafické úpravy pinu, kdy je zvýrazněn elektrický typ pinu atd.



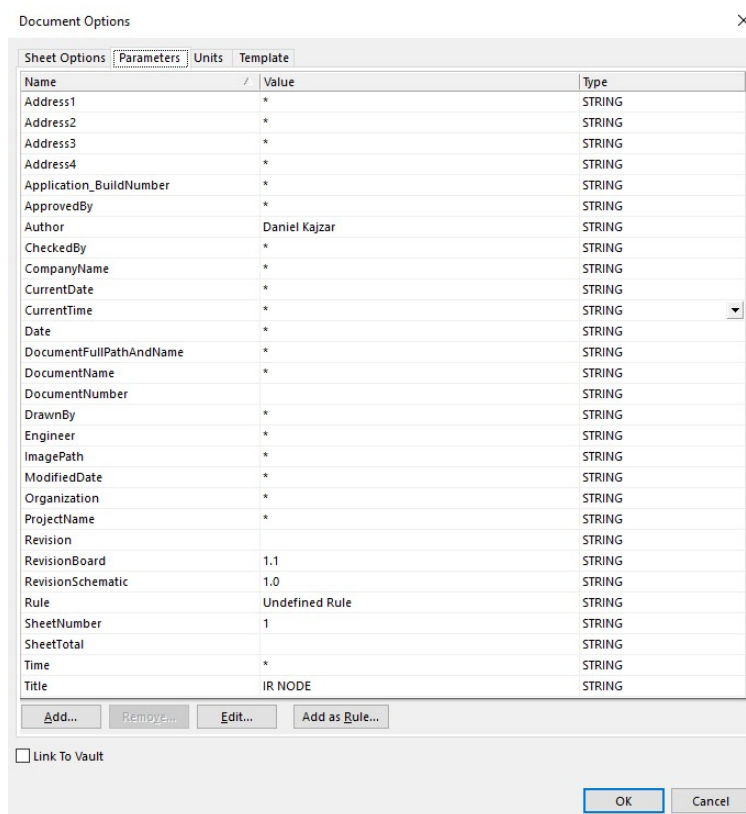
Obrázek 12: Okno Pin Properties

## 8 Zpracování výkresové dokumentace

Výkresová dokumentace je důležitou součástí při návrhu desky plošného spoje. Pro snadnější tvorbu této dokumentace obsahuje Altium Designer několik nástrojů, které budou následně popsány. Nedílnou součástí dokumentace je také razítko. Altium Designer nabízí několik razítek, nicméně pro náš projekt bylo vytvořeno razítko pro katedru kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

### 8.1 Tvorba razítka

V první řadě bylo vytvořeno razítko v návrhovém prostředí Altium Designer. Bylo nakresleno razítko pro formát A4. Vzhled razítka je zobrazen na obr. 14. Razítko je možné vytvořit přímo v Altium Designer, ve kterém je obsažena nabídka různých grafických prvků. V našem případě byly využity prvky *Text*, *PolyLine* a *Graphic*, pomocí něhož byl vložen rastrový obrázek (logo katedry). Jednotlivé texty jako jméno autora, revize, titulek atd. je možné měnit v nastavení *Document Options* v záložce *Parameters*. V tomto nastavení je obsaženo několik parametrů (viz obr. 13), které jsou vázány odkazem na jednotlivé textové objekty v razítku.

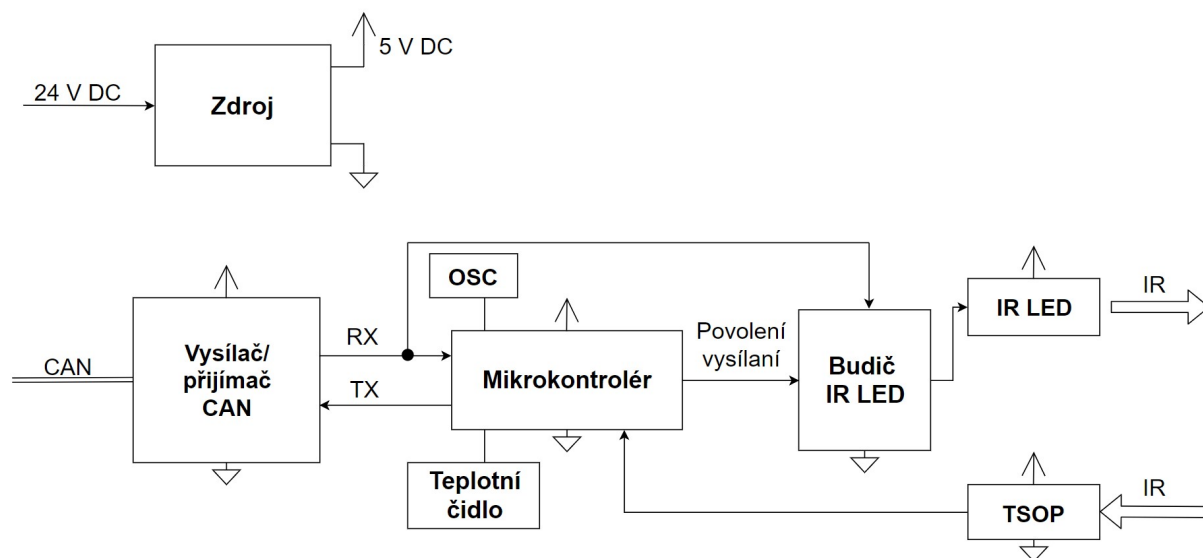


Obrázek 13: Okno s nastavitelnými parametry pro razítko



### 8.3 Blokové schéma elektroniky Uzlu

Na obrázku 16 je zobrazeno blokové schéma zařízení Uzlu. Uzel lze rozdělit na dvě části, a to část zdroje a číslicovou část. V část zdroje je využit DC/DC měnič s výstupním napětím 5 V a maximálním proudovým odběrem 1,2 A. Číslicová část obsahuje přijímač/vysílač CAN, oscilátor, mikrokontrolér, teplotní čidlo, budič IR LED, IR LED, TSOP. Buzení IR LED je ovládáno pomocí fyzické vrstvy CAN, kdy mikrokontrolér povoluje vysílání. Příjem z TSOP je již zpracován mikrokontrolér a poslán pomocí CAN do nadřazeného systému.



Obrázek 16: Blokové schéma elektroniky Uzlu



## 9 Návrh desky plošného spoje

Jak již bylo řečeno v kapitole 6.2 zařízení bude obsahovat dvě desky, které byly pracovně nazvány terčík a hlavní deska. Nyní bude popsán postup při návrhu obou desek.

### 9.1 Rozvržení vrstev plošného spoje hlavní desky

S ohledem na složitost zapojení a rozměry desky byl počet vrstev desky plošného spoje zvolen na čtyři vrstvy a umístění součástek z jedné strany desky. Zařízení obsahuje dvě základní části, část zdroje a číslicovou část. Toto rozdělení také ovlivnilo rozvržení vrstev.

V části napájecího zdroje bylo rozložení vrstev navrženo následovně: v první vrstvě je obsaženo napájení a zem, kdy zem tvoří polygon. V dalších třech vrstvách se již nachází pouze zem. Napájení zdroje je 24 V.

V číslicové části je v první vrstvě obsažena zem (ve formě polygonu) a signálové cesty. V druhé vrstvě je obsaženo pouze napájecí napětí tvořeno polygonem. V třetí vrstvě je opět zem (ve formě polygonu) a signálové cesty. V poslední, tedy čtvrté vrstvě, je obsažena pouze zem, která je ve formě polygonu a není přerušena žádnými cestami. Číslicová část byla navržena pro 5V logiku.

### 9.2 Rozvržení vrstev plošného spoje terčíku

Pro desku terčíku byla zvolena opět čtyřvrstvá technologie. Jelikož je deska malých rozměrů a s ohledem na množství součástek, bylo rozhodnuto o umístění součástek z obou stran.

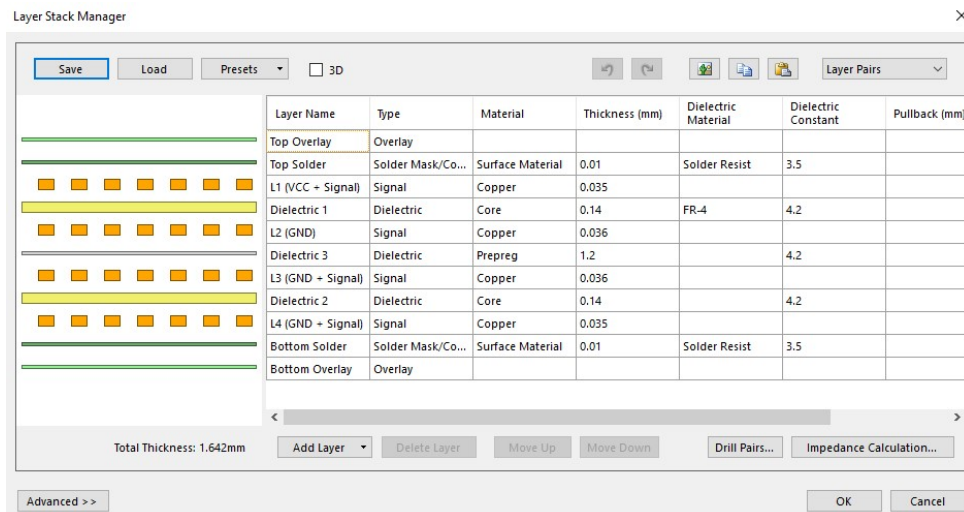
V první vrstvě je obsaženo napájení (rozvedeno ve formě polygonu) a signálové cesty. Druhá vrstva je pouze zemnicí. V třetí a čtvrté vrstvě je obsažena zem zdroje (opět ve formě polygonu) a signálové cesty. Napájení je převzato z hlavní desky, z číslicové části, tedy jedná se o 5 V.

### 9.3 Nástroj Layer stack manager

Díky nástroji *Layer Stack Manager* je umožněno v Altium Desingeru pracovat s vrstvami DPS. Je možno přidávat vrstvy nebo odebírat, zadávat jejich tloušťku, upravit název, zvolit materiál dané vrstvy a dielektrickou konstantu. Taky je graficky znázorněno rozvržení vrstev DPS. Na obrázku 17 je toto nastavení zobrazeno. Dále bylo využito nastavení *Drill Pairs*, kde je možné nastavit typ využívaných děr v daném projektu. Je zde definováno z jaké vrstvy a do jaké vrstvy budou vrtány díry. Tedy zda se bude jednat o díry skrz nebo slepé díry. V našem projektu byly zvoleny pouze díry z první do čtvrté vrstvy, jedná se tedy o díry skrz, jelikož využití pouze této technologie je ekonomicky výhodnější.

### 9.4 Nástroj pro nastavení pravidel návrhu

Podstatnou částí při návrhu DPS v programu Altium Designer je tvorba pravidel návrhu. Toto lze provést v nastavení, které je možno najít v *Desing* → *Rules*. Zde jsou nastavovány



Obrázek 17: Okno Layer stack manager s hodnotami pro desku terčíku

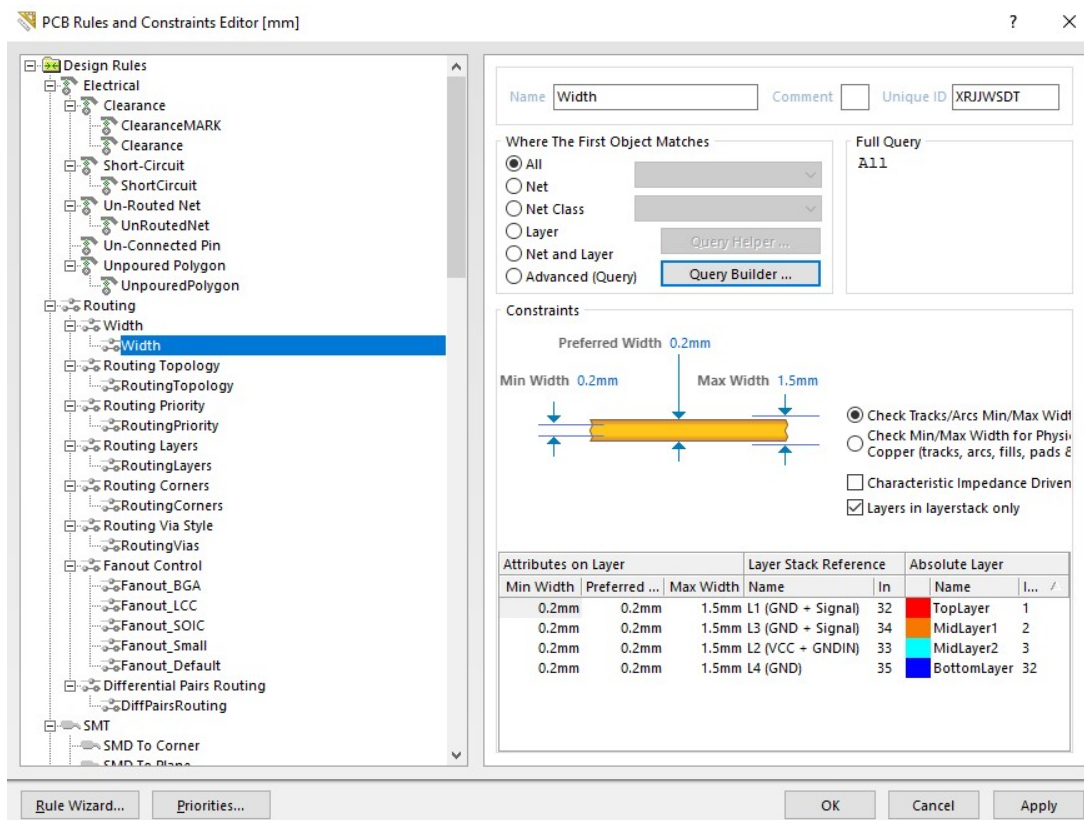
různá pravidla ať už maximální a minimální šířka spoje, izolace, velikost prokovených otvorů, pravidlo pro tvorbu polygonu atd. Pravidla je možno přidávat nebo smazat. V každé pravidle je obsažena část pro definici, a poté na které objekty platí toto pravidlo. Pro příklad je uveden obrázek 18, kde je zobrazeno pravidlo pro nastavení maximální a minimální šířky spoje, čímž je pravidlo definováno. Poté je možno zvolit pro jaké objekty bude toto pravidlo využito. To je zaznamenáno pomocí příkazu v okně *Full Query*. Je možné zvolit několik možností:

- **All** pravidlo platí pro všechny,
- **Net** platí pouze pro určitou síť,
- **Net Class** platí pro definovanou třídu sítí,
- **Layer** platí pro danou vrstvu,
- **Net and Layer** platí pro síť a vrstvu,
- **Advanced (Query)** zde je možné si vytvořit vlastní pravidlo. Pravidlo je tvořeno příkazem, pro které je možné využít také nástroj *Query Builder*, ve kterém se dají tyto příkazy generovat.

Pro naše zařízení byla nastavena pravidla dle technických podmínek firmy, kde byla deska vyrobena. Tedy minimální a maximální šířku spoje, minimální velikost prokovených otvorů, izolační mezera atd., což bylo převzato z jejich stránek, kde jsou uvedeny výrobní a technologické možnosti. DPS byla vyrobena ve firmě PragoBoard s. r. o.

Nicméně bylo potřeba vytvořit i další pravidla pro tvorbu polygonu. Jelikož při použití prokovených otvorů, které jsou připojeny na polygon, automaticky vznikaly při spojení termální plošky. Nicméně při spojení prokoveného otvoru s polygonem, tyto plošky nejsou potřeba.

Bylo tedy nastaveno přímé spojení pro prokovené otvory, které jsou v síti s názvem GND nebo GND\_IN. Toto nastavení je zobrazeno na obrázku 19. Obdobně bylo toto nastavení využito pro prokovené otvory z napájecí vrstvy.



Obrázek 18: Okno Rules pro nastavení šířky spoje

## 9.5 Návrh plošného spoje pro zdroj hlavní desky

Jak již bylo dříve zmíněno, zařízení lze rozdělit na dvě základní části, zdroj a číslicovou část. Při návrhu zdroje bylo nutné přihlížet na velikost, respektive výšku použitých součástek. Jelikož DPS bude umístěna do trubice kruhového průřezu, bylo nutné vyšší komponenty směřovat do středu DPS. Komponenty byly také voleny s ohledem na rozměry.

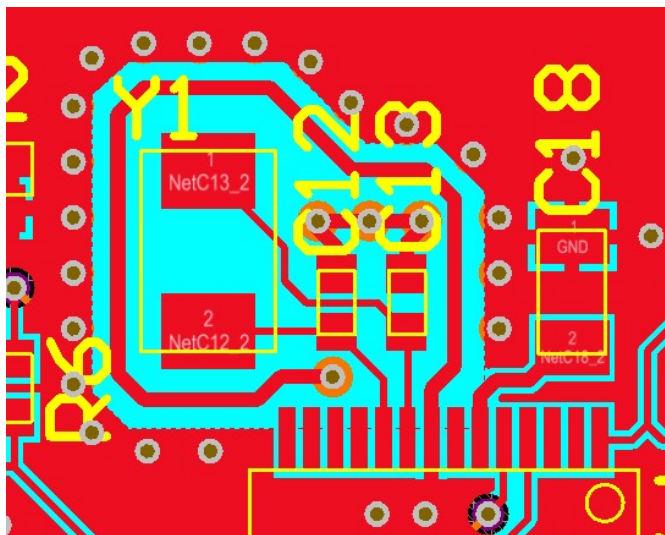
## 9.6 Návrh plošného spoje pro číslicovou část hlavní desky

Číslicová část zařízení je složena z mikrokontroléru od firmy Microchip (PIC18F26K80), vysoko-rychlostního CAN vysílače s pohotovostním režimem (TJA1042T), obvodem pro měření teploty, budiče pro IR LED, logické prvky a další potřebné pasivní prvky. V první řadě byly zvoleny součástky primárně v provedení SMT. Pro pasivní součástky, pokud nebylo potřeba jinak, byla primárně vybrána velikost pouzder 0603.

Name	olygonConnectNoThermalGND	Comment		Unique ID	BF8BDQVN
Where The First Object Matches				Full Query	
<input type="radio"/> All <input type="radio"/> Net <input type="radio"/> Net Class <input type="radio"/> Layer <input type="radio"/> Net and Layer <input checked="" type="radio"/> Advanced (Query)				IsVia AND (InNet('GND') OR InNet('GND_IN'))	
<input type="button" value="Query Helper ..."/> <input type="button" value="Query Builder ..."/>					
Where The Second Object Matches				Full Query	
<input checked="" type="radio"/> All <input type="radio"/> Net <input type="radio"/> Net Class <input type="radio"/> Layer <input type="radio"/> Net and Layer <input type="radio"/> Advanced (Query)				All	
<input type="button" value="Query Helper ..."/> <input type="button" value="Query Builder ..."/>					
Constraints					
Connect Style					
Direct Connect					

Obrázek 19: Nastavení přímého spojení pro zemnicí prokovené otvory

Jednou z důležitých částí při návrhu byl návrh blokovacích kondenzátorů. Blokovací kondenzátory zajišťují místní DC zdroj energie pro aktivní součástky. Toto omezuje šum od rychlého spínání. Při návrhu je nutné, aby kondenzátor byl co nejblíže aktivní součástce a aby přívodní cesta prve byla připojena na kondenzátor a poté až na pin aktivní součástky.[21]



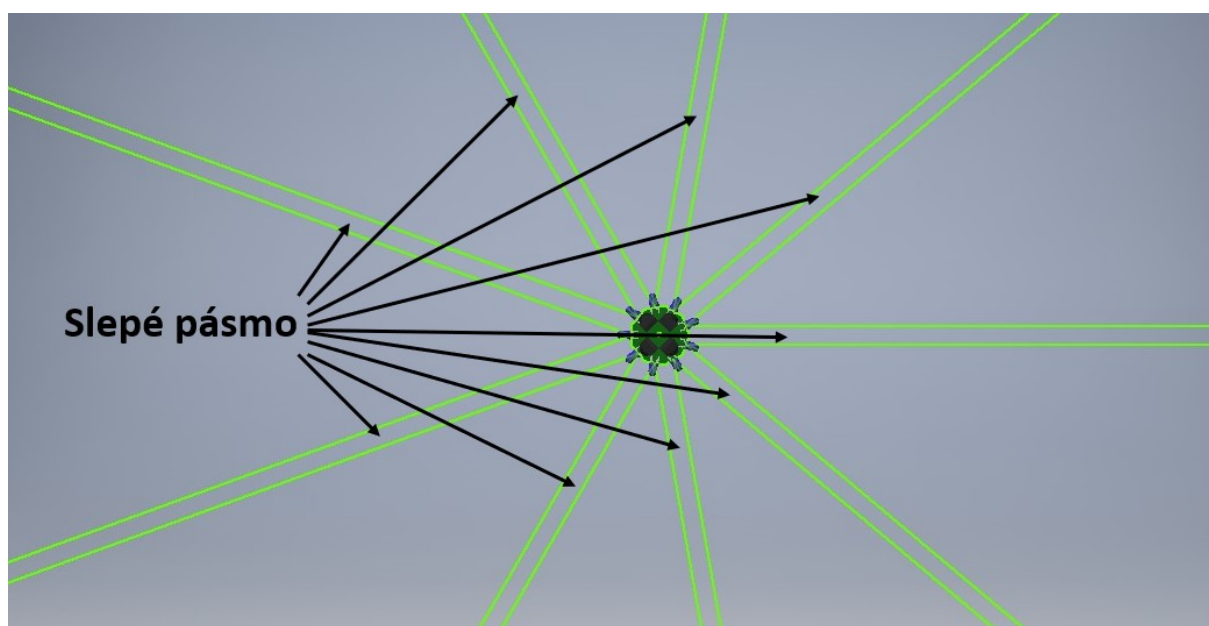
Obrázek 20: Motiv plošného spoje o oscilátor

Jedním z hlavních zdrojů rušení je oscilátor. Proto byl proveden návrh motivu plošného spoje jak je zobrazen na obrázku 20. Prokovené otvory okolo oscilátoru jsou připojeny k zemi a zároveň cesta vedoucí okolo kondenzátorů a oscilátorů je taktéž spojena se zemí. Toto zamezuje šíření

rušení v DPS způsobené oscilátorem.

## 9.7 Návrh plošného spoje terčíku

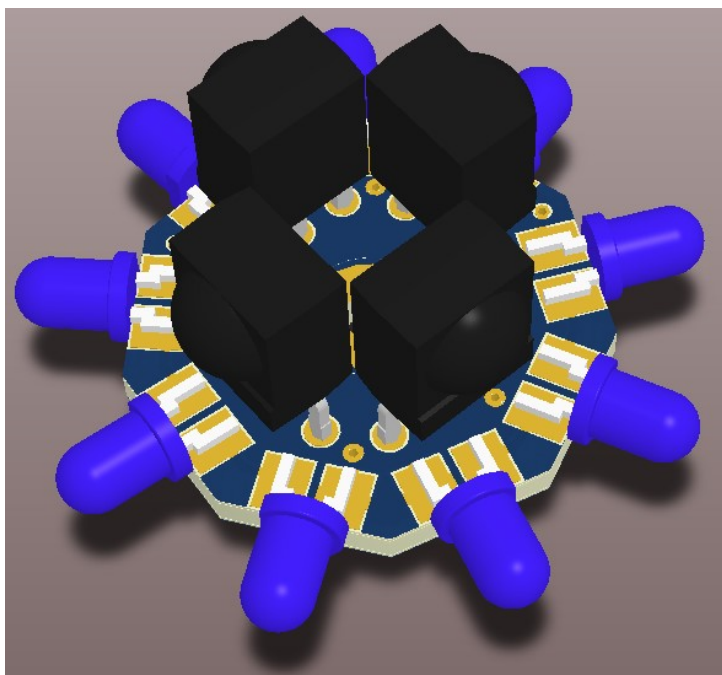
Jak již bylo dříve zmíněno tvar desky terčíku byl navrhnut do devítiúhelníku. Na každé hraně úhelníku bude připájená IR LED, jedná se o klasickou 3mm IR LED. Tato LED bude pájena ne ve svislém, ale vodorovném směru na pájecí plochy. To nám zajistí dobré pokrytí vysílání do všech stran. Zvolená IR dioda (SFH 4346) disponuje vyzařovacím úhlem minimálně  $40^\circ$ . S tímto vyzařovacím úhlem ale vznikají malá slepá pásma. Celkem je těchto pásem 9 a jsou zobrazeny na obrázku 21. Šířka slepého pásma je okolo 6 mm, což je zanedbatelné. Jelikož v zařízení budou obsaženo více Uzlů, které jsou rozestaveny okolo měřících pinů, je tedy velice nepravděpodobné, že se pin bude nacházet ve slepé oblasti. Navíc  $40^\circ$  je minimální vyzařovací úhel, pokud by úhel byl již například  $42^\circ$ , tak slepé pásmo zanikne ve vzdálenosti 0,5 m od terčíku. Jednou z dalších verzí realizace DPS terčíku byla možnost využít IR LED, kterou je možné zavést do výřezu v hraně desky a připájet na připravené plochy. Jedná se o typ SFH 4140. Nicméně toto řešení, ať už je vhodnějším řešením pro prostor, tak není zajištěno pro dlouhodobé účely z důvodu prodeje těchto LED. Protože se jedná o specifický typ IR LED, v případě zastavení výroby již není jistota, že bude nalezena dostačující alternativa. Proto byla tato realizace zamítnuta a byla využita realizace s 3mm IR LED. Tato realizace je zobrazena na obrázku 22.



Obrázek 21: Pokrytí vysílání IR

Pro přijímání byly využity infračervené přijímače. Tyto přijímače byly umístěny přibližně do čtverce, kdy každý přijímač pokrýval jednu stranu. Infračervené přijímače mají přijímací úhel

160°. To nám zajistí pokrytí příjmu ze všech stran (viz obr. 23). Jak již bylo dříve zmíněno, bylo nutné využít oboustranný osaz. Spodní strana terčíku bude obsahovat pasivní prvky.



Obrázek 22: 3D model DPS terčíku

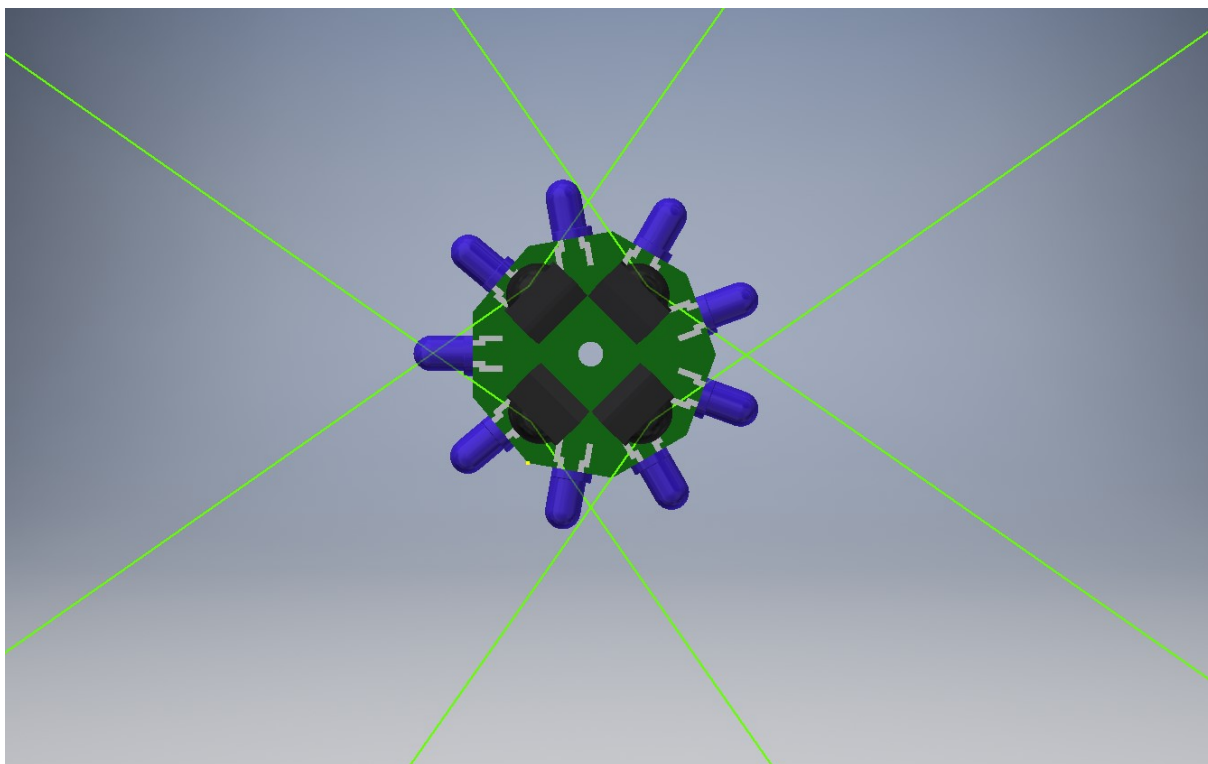
## 9.8 Návrh připojení terčíku k hlavní desce

Klíčovou částí návrhu byl návrh propojení hlavní desky a terčíku. Vzhledem k náročnosti na prostor, tak uvažování o nějakém konektoru zde ztrácí význam. Musela být zvolena menší varianta propojení. Proto propojení bylo navrženo následovně. Byly vytvořeny prokovené díry přímo do hrany hlavní desky (viz obrázek 24). Na terčíku jsou pak pájecí plošky, které budou připájeny k těmto prokoveným otvorům. Pro zesílení spoje byl v desce vytvořen výřez v ose desky, kde bude umístěna matice velikosti M2. Tato matice bude k desce připájena. Na desce terčíku byla umístěna díra pro šroub velikosti M2, který bude našroubován do matice na hlavní desce.

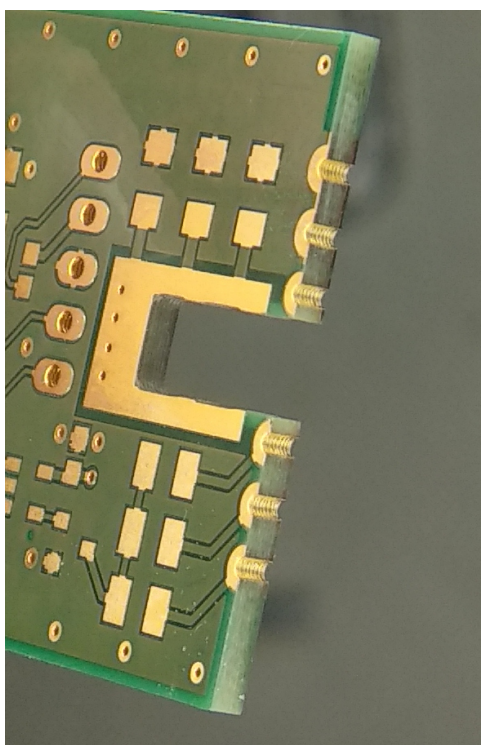
Pomocí prokovených děr v hraně desky se přenáší zem, signál pro IR LED a signál z IR přijímačů. Kladný pól napájení je přenesen pomocí šroubu.

V průběhu návrhu bylo nutné zmenšení rozměrů tloušťky hlavní desky. Prvotní tloušťka DPS 1,5mm byla změněna na 1 mm. Když byla deska hrubší, byla větší pravděpodobnost špatného zapájení plošek terčíku s prokovenými otvory v hlavní desce.





Obrázek 23: Pokrytí příjmu IR



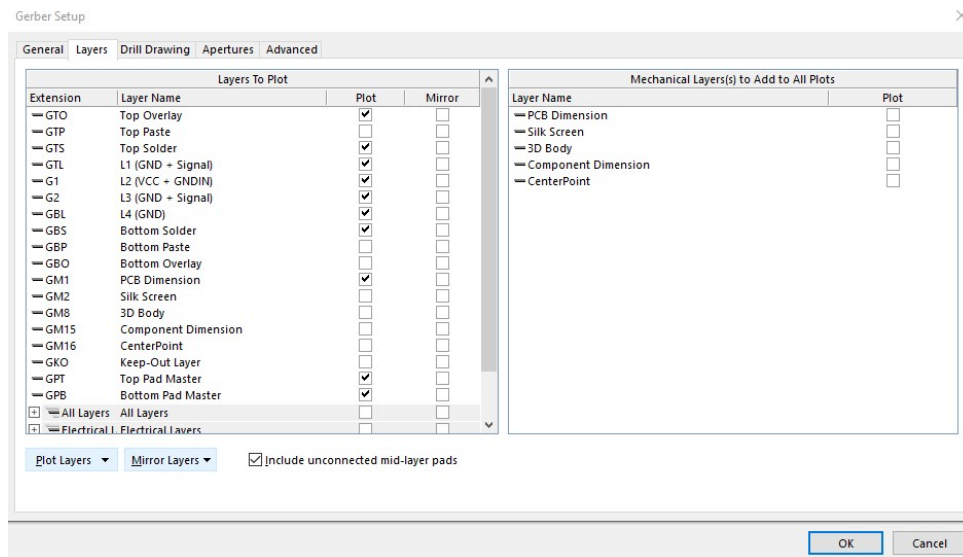
Obrázek 24: Prokovené otvory na hraně hlavní desky

## 10 Tvorba výrobních podkladů

Pro každé zařízení, které má být vyrobeno, musí být vytvořena dokumentace. Návrhový program obsahuje několik nástrojů pro tvorbu těchto výrobních dokumentů. V této kapitole budou popsány jednotlivé nástroje, které byly využity při vytváření dokumentace pro naše zařízení.

### 10.1 Tvorba Gerber souboru

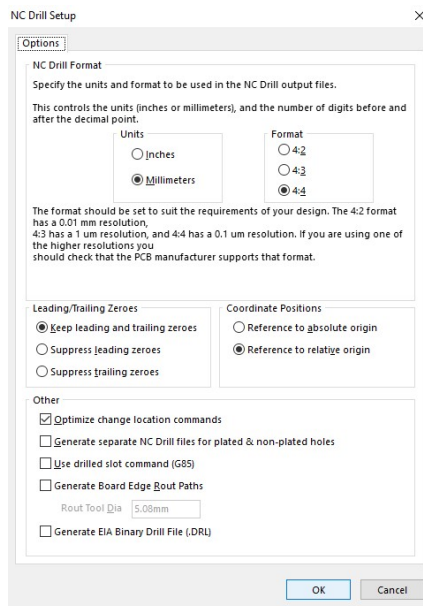
Pokud je DPS poslána do výroby, je potřeba firmě poskytnout potřebná data pro její výrobu. K tomu je určen datový formát Gerber. V souborech jsou obsaženy instrukce fotoplotru. Těmito instrukcemi jsou popsány, jak má být daný motiv vykreslen na film. Ten je nezbytný pro výrobu DPS. Dále je potřebné znát zvlášť jednotlivé vrstvy, proto výstupem pro DPS je několik Gerber souborů. [20]



Obrázek 25: Okno pro nastavení generace Gerber souborů

V Altium Designeru je obsažen nástroj pro tvorbu Gerber souborů. V nabídce *File* → *Fabrication Outputs* → *Gerber Files* je možné nastavit jednotlivé parametry tvorby gerber souborů. Okno, které je zobrazeno na obrázku 25, obsahuje několik záložek. V záložce *General* je možné si zvolit typ rozlišení. Pro náš projekt bylo zvoleno rozlišení 4:4 v milimetrech, tedy se jedná o rozlišení 0,1  $\mu\text{m}$ . Nejdůležitější záložkou je však záložka *Layers*. Zde je možné zvolit, pro které vrstvy budou vytvořeny Gerber soubory. Na obrázku 25 je zobrazeno nastavení, který bylo využito pro náš projekt. Záložka *Drill Drawing* v našem projektu nebyla využita, namísto toho byl využit jiný nástroj integrovaný v Altiumu, a to *NC Drill Setup*. Výstupem je pak textový soubor obsahující jednotlivé souřadnice děr. Nastavení, které je zobrazeno na obrázku 26 bylo využito pro náš projekt. Další záložky v okně *Gerber setup* již zůstaly ve výchozím nastavení. Vytvořené Gerber soubory pak byly kontrolovány v Gerber prohlížeči.

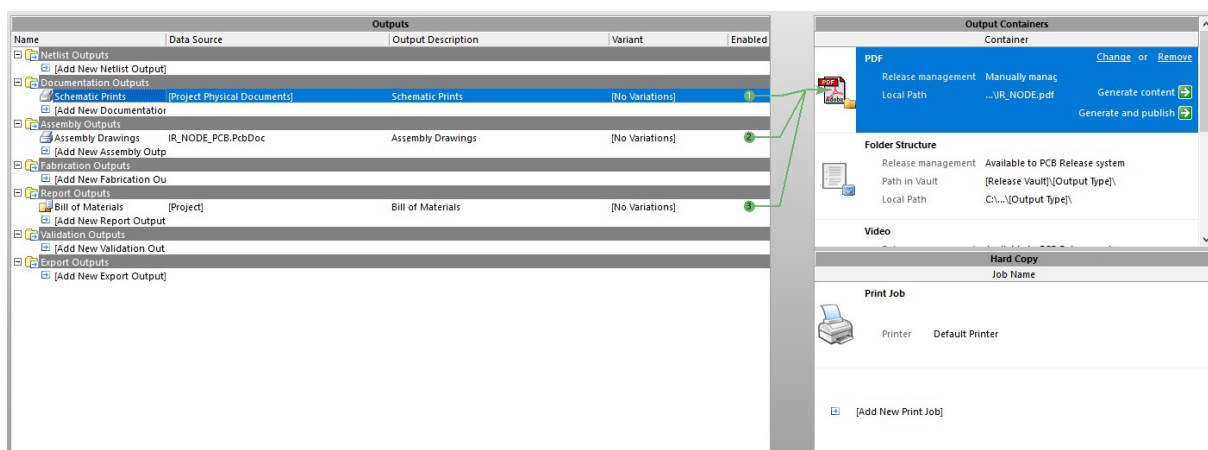




Obrázek 26: Okno NC Drill Setup

## 10.2 Tvorba montážního výkresu, seznam součástek a souboru umístění součástek

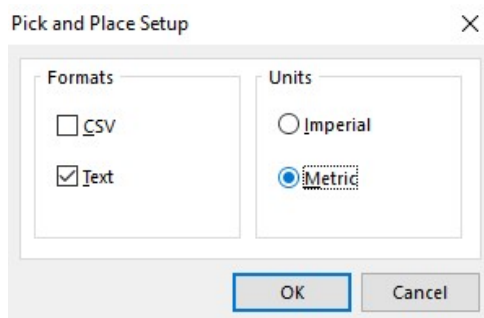
Kromě Gerber souborů jsou potřebné i další dokumenty, jako je osazovací výkres, seznam součástek s hodnotami a jejich objednávacími čísly a schéma zapojení. K tvorbě této dokumentace byl využit nástroj *smart PDF*. Pomocí tohoto nástroje je možné vytvořit soubor s příponou *OutJob*. Po otevření souboru v Altium Designeru se nám zobrazí nabídka, která je zobrazena na obrázku 27. V tomto nastavení je možné vybrat jaké dokumenty bude PDF obsahovat. V našem případě PDF obsahuje schéma zapojení, osazovací výkres a seznam součástek. To jsou všechny informace potřebné pro montáž a nákup součástek.



Obrázek 27: Okno souboru pro tvorbu smart PDF

Tyto jednotlivé části (schéma, osazovací výkres, nákupní seznam) mají svá nastavení. Deska terčíku je osazena oboustranně, bylo tedy potřeba nastavit u montážního výkresu obě strany. Pro nákupní seznam součástek je potřeba zvolit parametr, dle kterého se bude seznam řadit. V našem projektu řídicím parametrem bylo objednáací číslo. Na obrázku 27 je možné si povšimnout čísel v zeleném kolečku. Tato čísla vyjadřují pořadí stránek ve vygenerovaném PDF souboru.

Pomocí nástroje *pick and place file* je možné vytvořit soubor s umístěním součástek. Okno s nastavením tohoto nástroje je zobrazeno na obrázku 28. Okno obsahuje dvě nastavení a to formát souboru a jednotku délky. Vygenerovaný soubor pak obsahuje název komponenty, název *footprintu*, popis, souřadnice komponenty a pootočení.



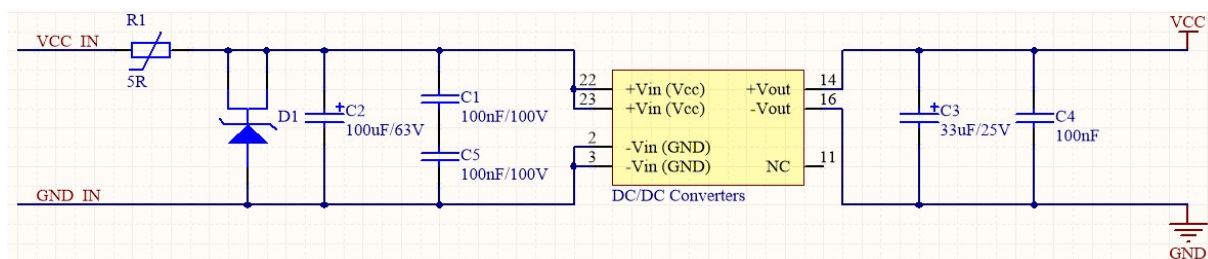
Obrázek 28: Okno nástroje pick and place

## 11 Testování

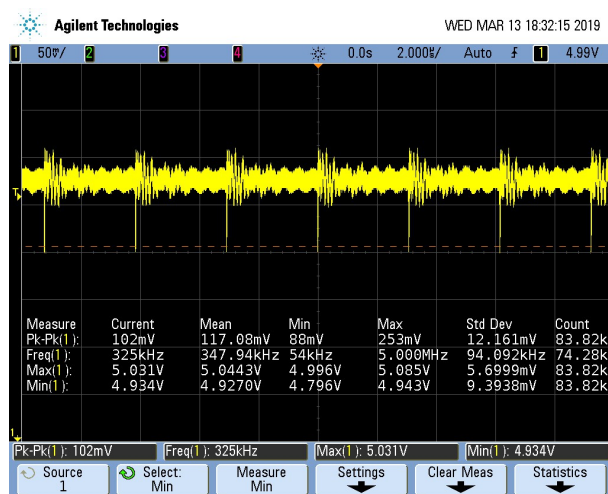
Po zhotovení bylo zařízení otestováno. Proběhlo testování zdroje, poté byl zhotoven program pro ověření buzení budiče pro IR LED a zároveň pro odzkoušení nahrání programu do mikrokontroléru. Také byla ověřena správnost zapájení IR LED na desce terčíku.

### 11.1 Testování zdroje

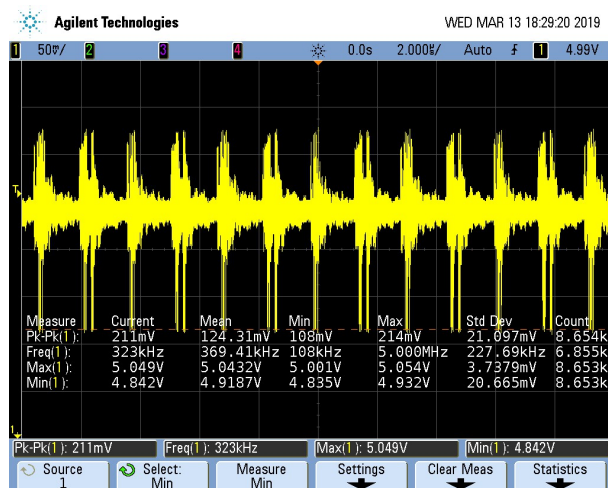
Schéma zapojení zdroje je zobrazeno na obrázku 29. Pro testování bylo na vstup, neboli dle schématu VCC\_IN a GND\_IN připojeno napětí podle datasheetu 24 V. V první řadě byla zobrazena na osciloskopu závislost napětí na čase bez zatížení zdroje. Jak lze vidět na obrázku 30 dochází k rozkmitu napětí, které se periodicky opakuje s frekvencí přibližně okolo 330 kHz, což odpovídá spínací frekvenci DC/DC měniče. Velikost rozkmitu nezatíženého zdroje dosahuje přibližně 100 mV. Pro změření rozkmitu při zatížení byla využita elektronická zátěž, která byla nastavena v režimu konstantního proudu. Proud byl nastaven na 1,2 A, kdy při tomto odběru byl rozkmit napětí přibližně 200 mV jak lze vidět na obrázku 31.



Obrázek 29: Schéma zdroje



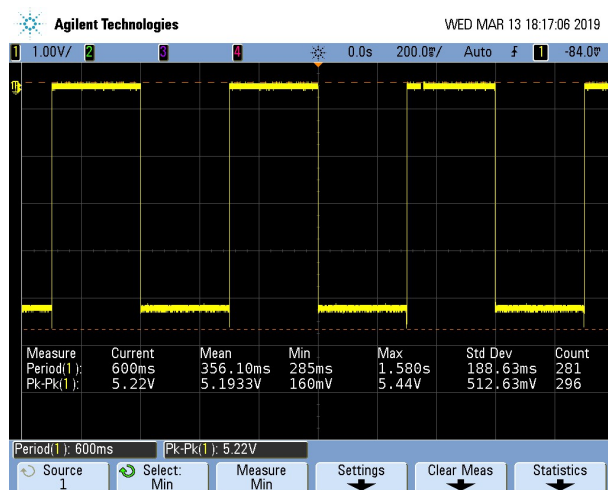
Obrázek 30: Snímek z osciloskopu nezatíženého zdroje



Obrázek 31: Snímek z osciloskopu zatíženého zdroje

## 11.2 Testování buzení budiče IR LED a nahrání programu

Pro otestování číslicové části byl vytvořen program, který povolí vysílání a periodicky vysílá obdélníkový signál na budič IR LED s periodou 600 ms. Na obrázku 32 pak lze vidět závislost napětí na čase, která je měřena za budičem pro IR LED, kde je zobrazen obdélníkový signál s periodou 600 ms a rozkmitem přibližně 5V. Tímto byla ověřena funkčnost mikrokontroléru a buzení budiče.



Obrázek 32: Snímek z osciloskopu při testování budiče IR LED

## 11.3 Ověření funkčnosti IR LED

Dále bylo nutné ověřit, zda IR LED byly připojeny se správnou polaritou. Ověření bylo provedeno připojením jedné větve IR LED k napájecímu zdroji, na kterém bylo nastaveno napěťové omezení

5 V a proudové omezením 20 mA. Zdroj tedy pracoval v režimu konstantního proudu. Do obvodu bylo dodáváno napětí 3,8 V, což přibližně odpovídá úbytku napětí na třech IR LED při proudu 20 mA. Takto byly ověřeny všechny tři větve IR LED.

## 12 Závěr

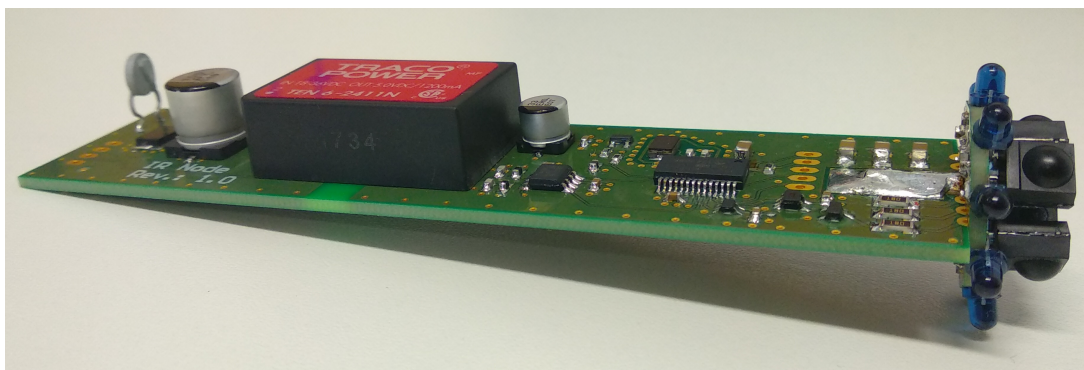
Mým cílem bylo vytvořit elektroniku spojovacího Uzu s ohledem na technické a mechanické požadavky, provést rešerši technických prostředků pro návrh DPS a 3D modelů a nastudovat teorii týkající se principů měření tlaku.

V první řadě jsme nastudoval teorii principů měření tlaku. Zabýval jsem se odporovými, piezoelektrickými a kapacitními principy měření tlaku. Následně jsem se zabíral DPS, kde jsem popsal vodivou část desky, tedy měděnou fólii a základní materiály pro DPS. Dále jsem provedl rešerši návrhových programů pro tvorbu DPS a 3D modelů. Uvedl jsem vybrané zástupce a popsal jejich vlastnosti v jednotlivých verzích.

V praktické části jsem v první řadě vytvořil knihovnu součástek. V knihovně jsou obsaženy schématické symboly a *footprinty* součástek. Návrhový program Altium Designer (v14.3) podporuje práci i s 3D modely. Tato skutečnost byla pro náš návrh důležitá, jelikož při návrhu bylo potřeba znát i výškový rozměr a celkovou vizualizaci zařízení. Proto při tvorbě knihovny bylo nutné pro každou součástku vytvořit 3D model. Tyto modely byly tvořeny v programu Autodesk Inventor Professional 2019 popř. byly staženy z dostupné webové stránky 3D ContentCentral.

V další části návrhu jsem nakreslil schéma zapojení. Dále bylo zapotřebí vytvořit razítko katedry pro daný návrhový program. Po vytvoření razítka jsem již nakreslil schéma zapojení za použití mnou vytvořené knihovny. Po kontrole schématu jsem přistoupil k tvorbě DPS.

Hlavní částí byl návrh DPS zařízení. Při návrhu jsem musel brát ohled na požadavky, které byly určeny. Jednalo se o omezení v rozměru desky, přesněji řečeno v šířce desky a výšce komponent. Šířka desky byla určena na 30 mm. Vyšší komponenty jsem umísťoval do středu desky. Délka desky nebyla nijak omezená. Důležitý požadavek byl na vysílací a přijímací část zařízení. Je totiž nutné, aby zařízení vysílalo a přijímalo ze všech (popř. do všech) stran. Realizace je blíže popsána v práci a zobrazena na obrázku 33. Dále s ohledem na mechanickou a technickou náročnost jsem zvolil počet vrstev DPS na čtyři vrstvy. Bylo nutné také nastavit návrhová pravidla v Altium Desingeru s ohledem na náš projekt a zvolit rozložení vrstev. Pak jsem již přistoupil k samostatnému návrhu. Všechny potřebné dokumenty jsou přiloženy v přílohách.



Obrázek 33: Hotové zařízení

V poslední části jsem vytvořil výrobní dokumenty. Bylo nutné vytvořit Gerber soubory, které byly následně poslány firmě PragoBoard s.r.o. na výrobu DPS. Altium Designer obsahuje jednotlivé nástroje pro tvorbu těchto souborů. Poté jsem vytvořil dokumentace pomocí dalšího integrovaného nástroje v Altium desingeru. Tato dokumentace obsahuje schéma zapojení, montážní výkres a seznam součástek s objednávacími čísly.

Poté co bylo zařízení vytvořeno, odzkoušel jsem funkčnost jednotlivých částí obvodu. Změřil jsem rozkmit napětí na nezatíženém a zatíženém zdroji. Výsledek jsem sledoval na osciloskopu a veškeré snímky a výsledky jsou zobrazeny v kapitole 11. Dále jsem otestoval buzení budiče pro IR LED a nahrání programu do mikrokontroléru a v neposlední řadě jsem otestoval terčík, zda byly IR LED správně zapájeny. Po mém testování jsem zařízení předal pro tvorbu softwarového vybavení, které již tvoří někdo jiný.

Mnou vytvořené zařízení bude po vytvoření programového vybavení dále testováno a odzkoušeno u zákazníka. Jedná se sice o prototyp, ale při tvorbě jsem se snažil co nejvíce přiblížit reálnému řešení.

## Literatura

- [1] ŠINDELÁŘ, Václav a Jaroslav SYNÁČ. *Tlak, jeho měření a jednotky*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1988.
- [2] VDOLEČEK, František. Snímače tlaku. *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku* [online]. 2000, **2000**(04) [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: [http://automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-tlaku-2000\\_04\\_27665\\_276/](http://automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-tlaku-2000_04_27665_276/)
- [3] Snímače polohy - kapacitní. In: *Eluc* [online]. [cit. 2018-10-18]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1579>
- [4] BEJČEK, Ludvík a Jan VACULÍK. Snímače tlaku. *Automa: časopis pro automatizační techniku*. 2011, **2011**(1), 20-23.
- [5] VOJÁČEK, Antonín. Odporové tenzometry - princip, provedení, použití, historie. *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. 2017, 19. 3. 2017, **2017** [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/foliove-odporove-tenzometry-princip-provedeni-pouziti-historie.html>
- [6] KADLEC, Karel. Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití (část 2). *Automa: časopis pro automatizační techniku*. 2007, **2007**(7), 25 - 29.
- [7] BENEŠ, Pavel. *Automatizace a automatizační technika III: prostředky automatizační techniky*. Vyd. 2. Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0795-7
- [8] ŠANDERA, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-181-0.
- [9] ABEL, Martin. *Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce*. Pardubice: Platan, 2000. ISBN 80-902733-2-7.
- [10] KADLEC, Karel. Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití (část 3). *Automa: časopis pro automatizační techniku*. 2007, **2007**(7), 23 - 26.
- [11] Proudová zatížitelnost vodiče. In: *PragoBoard* [online]. Praha: PragoBoard, c2012 [cit. 2018-10-12]. Dostupné z: [https://pragoboard.cz/proudova\\_zatizitelnost](https://pragoboard.cz/proudova_zatizitelnost)
- [12] KLAUZ, Milan. Programy pro návrh DPS. *DPS: Elektronika od A do Z* [online]. 2013, **2013**(06) [cit. 2018-10-18]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/cad-cam-cae/id:4602/programy-pro-navrh-dps>
- [13] KLAUZ, Milan. Programy pro návrh DPS – aktualizovaná verze (2018). *DPS: Elektronika od A do Z* [online]. 2018, **2018** [cit. 2018-10-18]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/cad-cam-cae/id:50369/programy-pro-navrh-dps-aktualizovana-verze-2018->

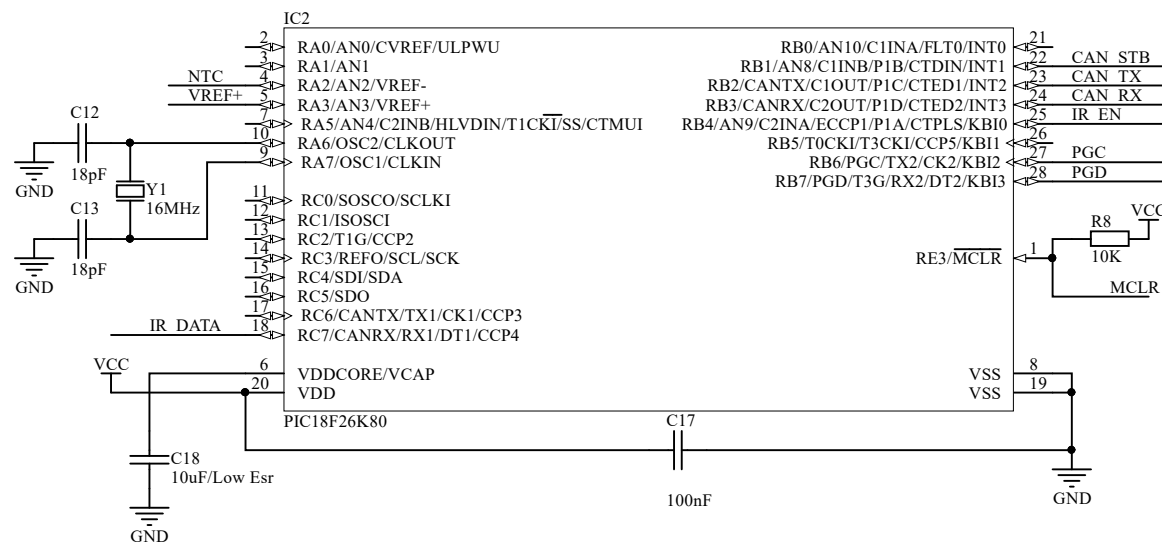
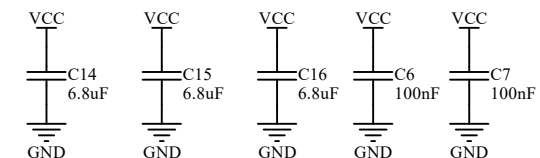
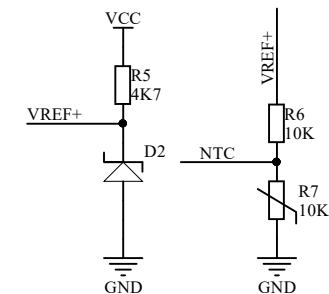
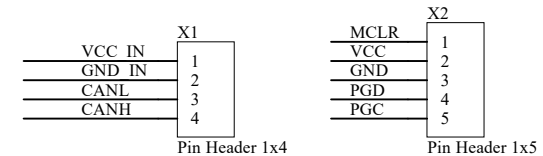
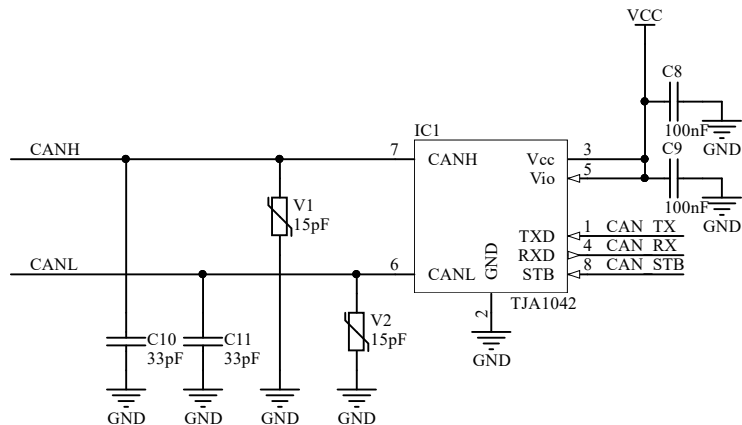
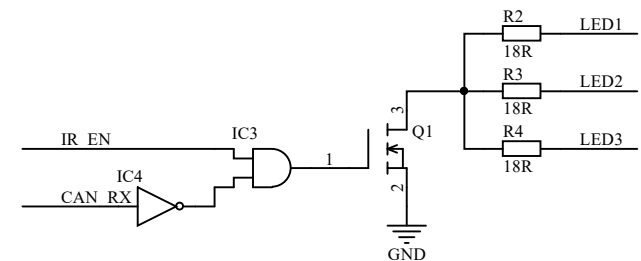
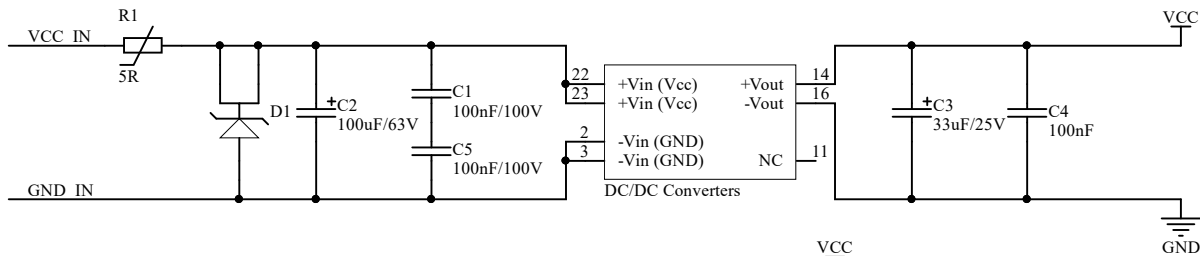



- [14] *AUTODESK* [online]. c2018 [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/eagle/compare>
- [15] TOŠOVSKÝ, Petr. *Úvod do Altium Designeru I.* [online]. vyvoj.hw.cz, 2010 [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/software/uvod-do-altium-designeru-i.html>
- [16] *Předplatné AutoCAD* [online]. c2018 [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/autocad/subscribe?plc=ACDIST&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
- [17] *Předplatné Inventor* [online]. c2018 [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/inventor/subscribe?plc=INVPROSA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
- [18] *Autodesk Inventor* [online]. c2012-2017 [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: <https://www.inventor3dblog.cz/inventor/>
- [19] Úvod do Altium Designeru IV. - knihovny. *Vyvoj.hw.cz: profesionální elektronika* [online]. hw.cz, 2011, 11. Ledena 2011 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/software/uvod-do-altium-designeru-iv-knihovny.html>
- [20] KLAUZ, Milan. Gerber data bez tajemství. *DPS: Elektronika od A do Z* [online]. 2013, **2013**(1) [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/cad-cam-cae/id:3068/gerber-data-bez-tajemstvi>
- [21] LUN, T. C. Výběr součástek při návrhu desky s ohledem na EMC. *DPS: Elektronika od A do Z* [online]. 2015, 2015, **2015**(4) [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyvoj/id:27484/vyber-soucastek-pri-navrhu-desky-s-ohledem-na-emc>

## **Přílohy**

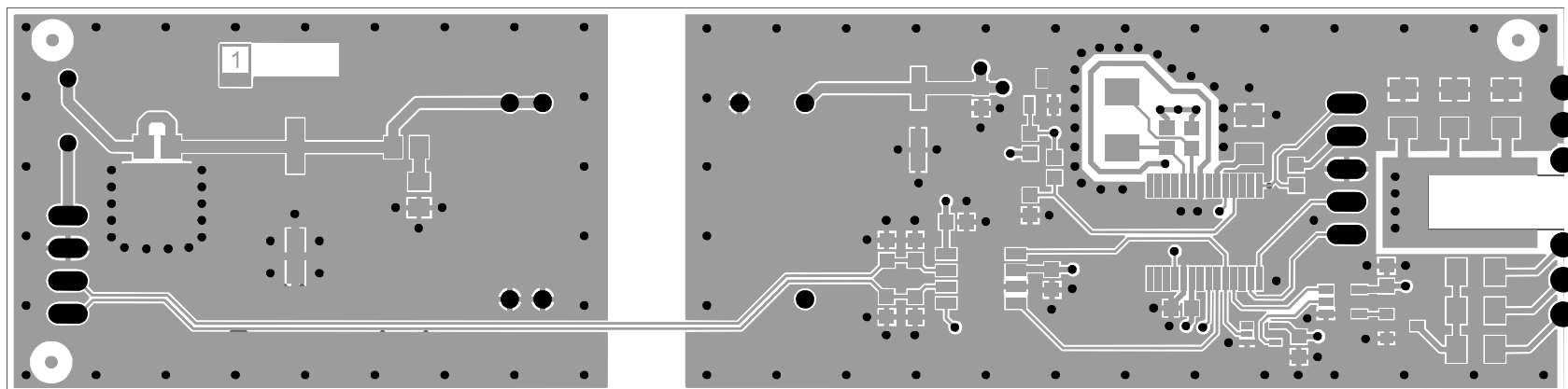
- A Schéma zapojení hlavní desky (2 strany)
- B Vrstvy DPS hlavní desky (5 stran)
- C Montážní výkres hlavní desky (2 strany)
- D Schéma zapojení desky terčíku (2 strany)
- E Vrstvy DPS desky terčíku (5 stran)
- F Montážní výkres desky terčíku (2 strany)

## A Schéma zapojení hlavní desky



Title: <b>UZEL - Hlavní deska</b>			Author: Daniel Kajzar	
Size: A4	Number: 1	Revision:		 DEPARTMENT OF CYBERNETICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING
Date: 08.04.2019	Time: 9:22:13	Schematic: 1.0	Board: 1.1	

## B Vrstvy DPS hlavní desky

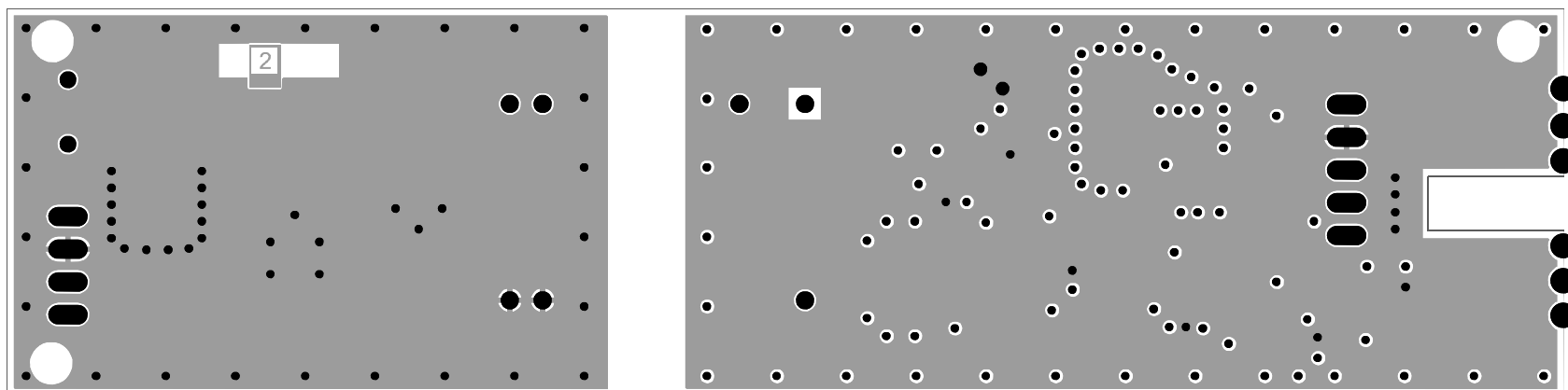


## UZEL – Hlavní deska

VŠB – TUO  
 Fakulta elektrotechniky a informatiky  
 Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Vrstva TOP

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	2:1	Revize:	1.1

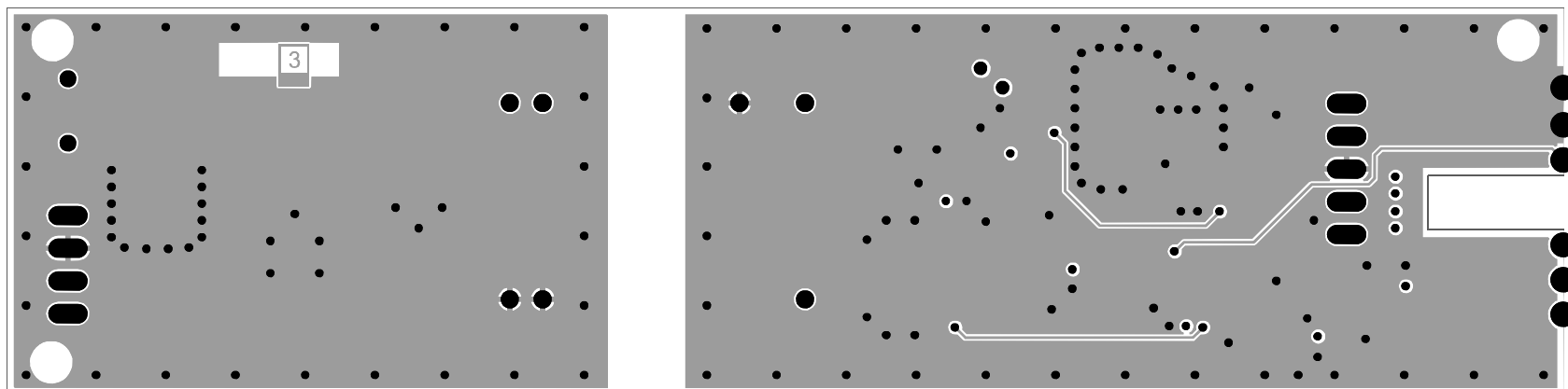


## UZEL – Hlavní deska

VŠB – TUO  
 Fakulta elektrotechniky a informatiky  
 Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Vnitřní vrstva L2

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	2:1	Revize:	1.1



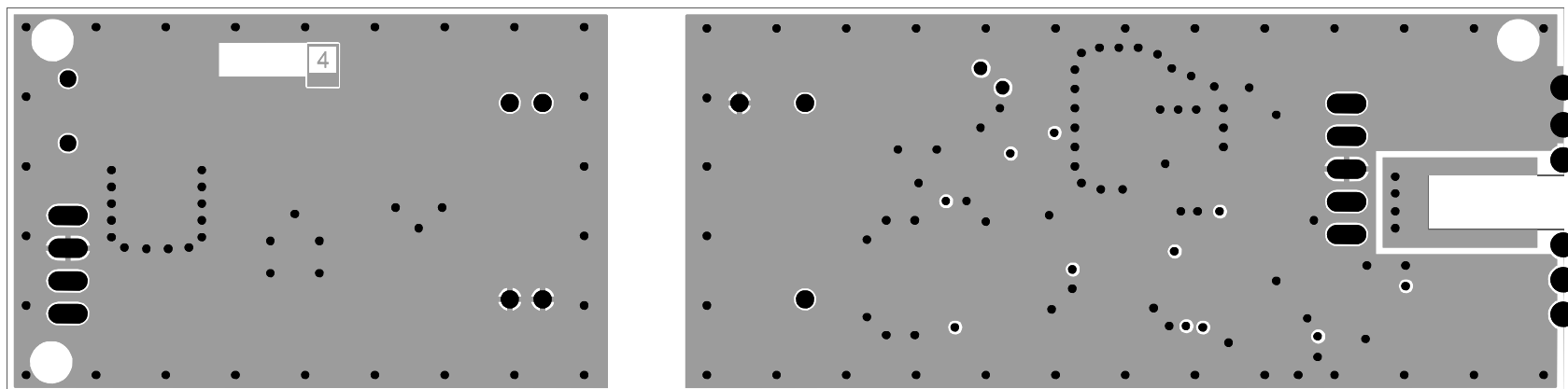
## UZEL – Hlavní deska

VŠB – TUO  
 Fakulta elektrotechniky a informatiky  
 Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Vnitřní vrstva L3

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	2:1	Revize:	1.1





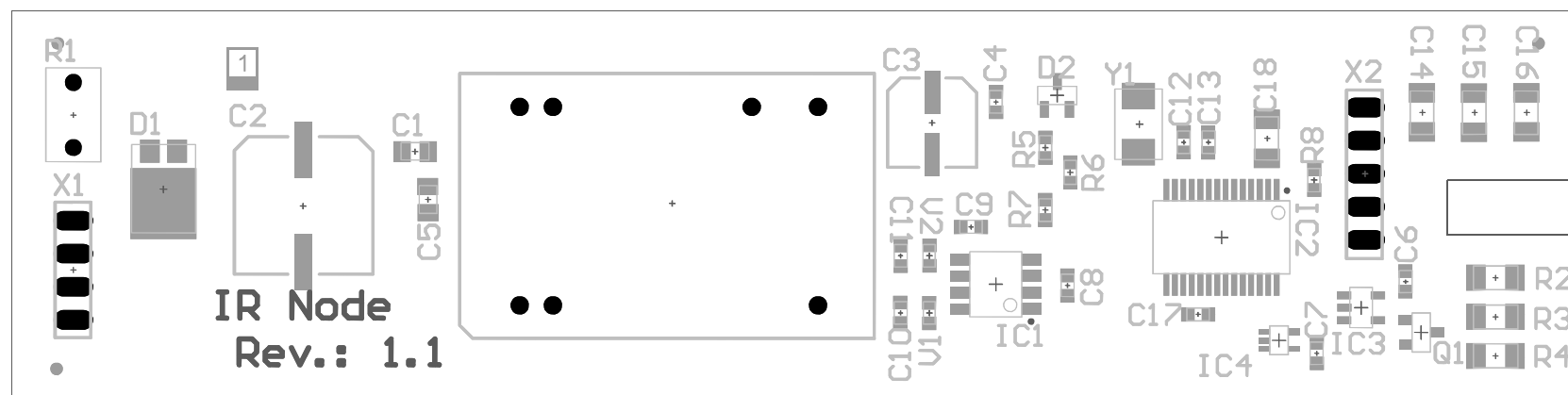
## UZEL – Hlavní deska

VŠB – TUO  
 Fakulta elektrotechniky a informatiky  
 Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Vrstva BOT

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	2:1	Revize:	1.1

## C Montážní výkres hlavní desky



## UZEL – Hlavní deska

VŠB – TUO  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Montážní výkres

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	2:1	Revize:	1.1

## D Schéma zapojení desky terčíku

1

2

3

4

A

A

B

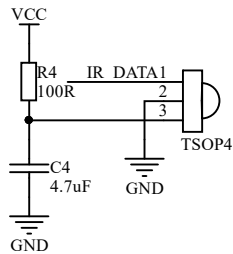
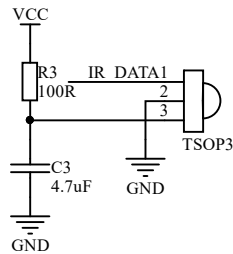
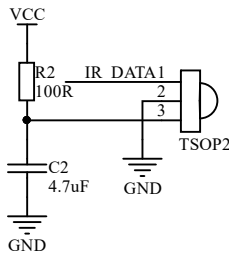
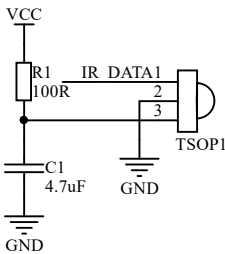
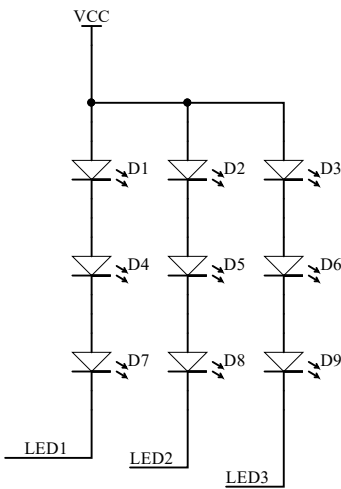
B


C

C

D

D



Title: <b>UZEL - Terčik</b>				Author: Daniel Kajzar	
Size: A4	Number:	Revision:		 DEPARTMENT OF CYBERNETICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING	
Date: 19.03.2019	Time: 23:02:51	Schematic: 1.0	Board: 1.0		

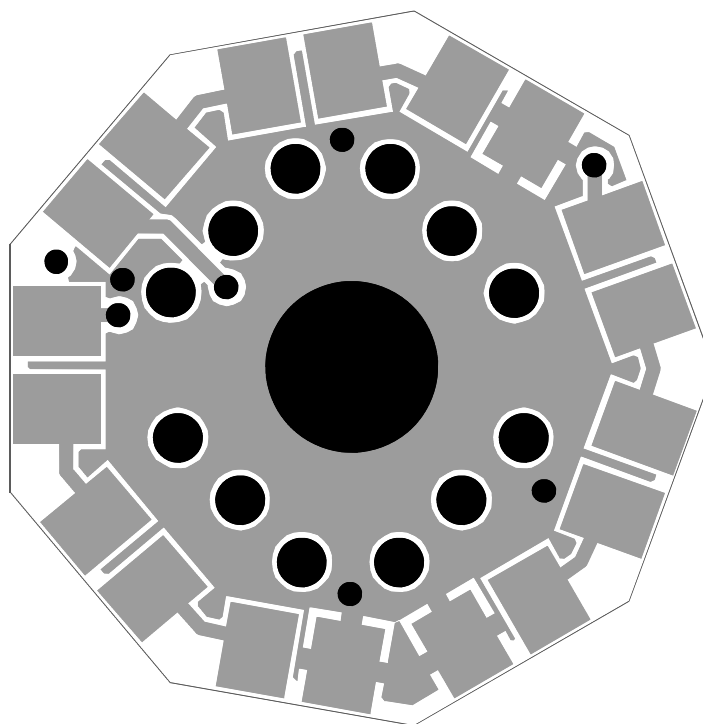
1

2

3

4

## **E    Vrstvy DPS desky terčíku**

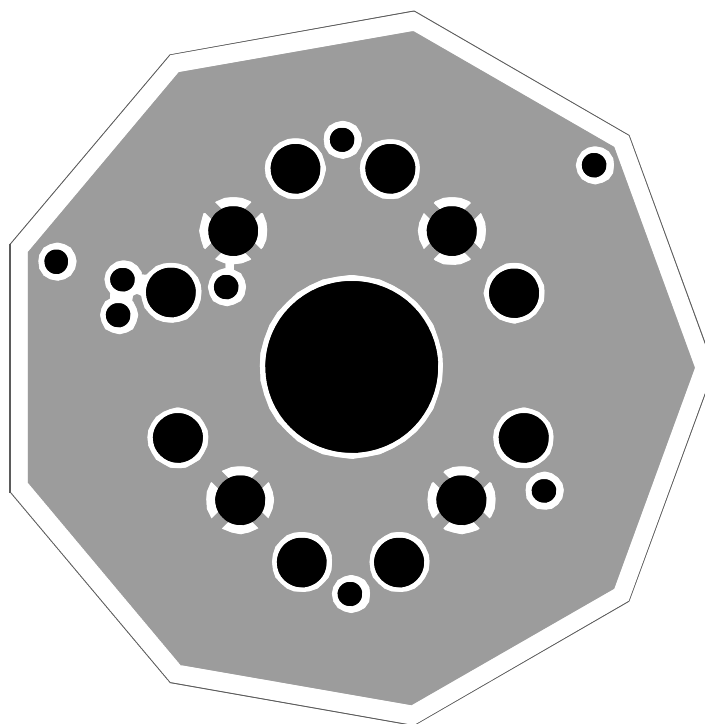


## UZEL – Terčík

VŠB – TUO  
 Fakulta elektrotechniky a informatiky  
 Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Vrstva TOP

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	5:1	Revize:	1.1



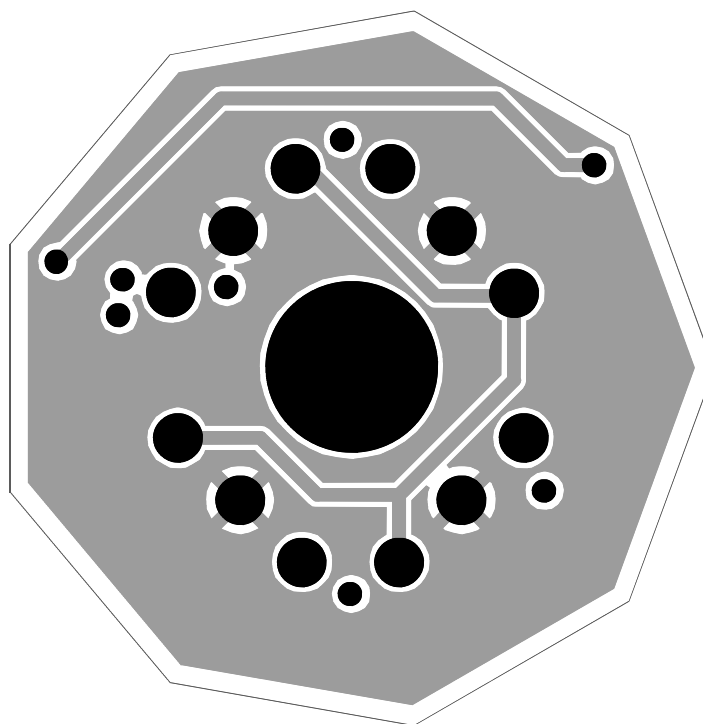
## UZEL – Terčík

VŠB – TUO  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Vnitřní vrstva L2

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	5:1	Revize:	1.1



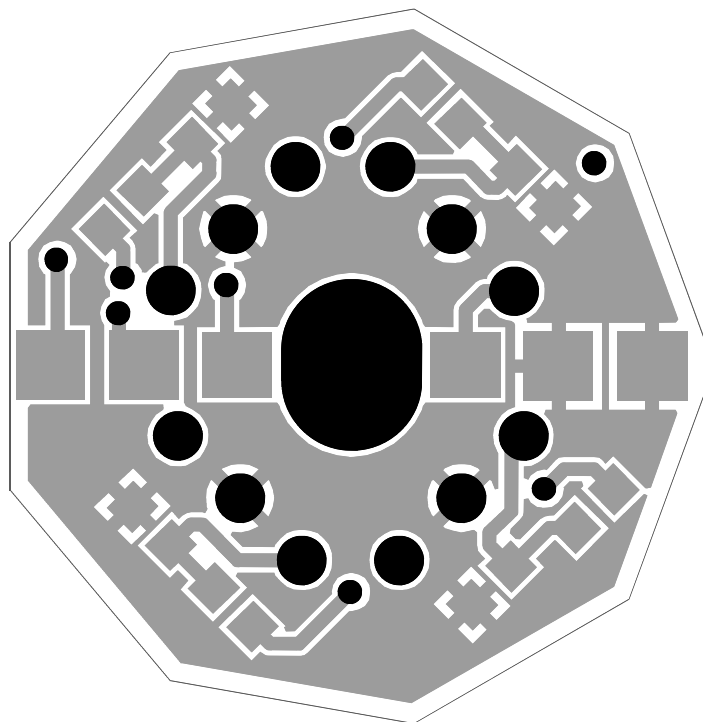


## UZEL – Terčík

VŠB – TUO  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Vnitřní vrstva L3

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	5:1	Revize:	1.1



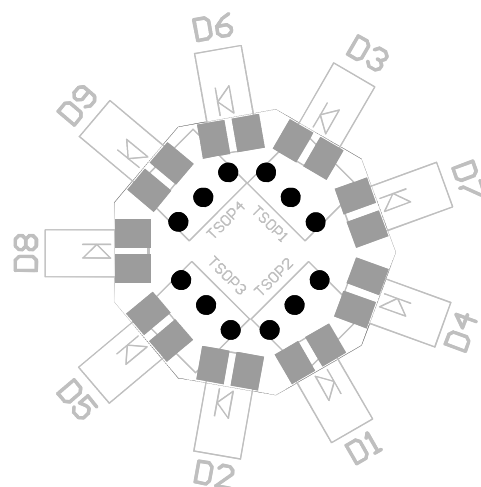
## UZEL – Terčík

VŠB – TUO  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Vrstva BOT

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	5:1	Revize:	1.1

## **F    Montážní výkres desky terčíku**

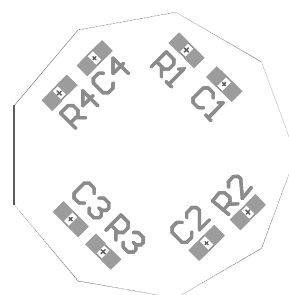


## UZEL – Terčík

VŠB – TUO  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Montážní výkres TOP

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	2:1	Revize:	1.1



## UZEL – Terčák

VŠB – TUO  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

### Montážní výkres BOT

Kreslil:	Daniel Kajzar	Datum:	19.03.2019
Měřítko:	2:1	Revize:	1.1